



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR GEDUNG HOTEL
HOLIDAY INN EXPRESS SURABAYA DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM RANGKA BRESING EKSENTRIK**

LAILATUL FITRIYAH
NRP. 3115 105 007

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D

Dosen Pembimbing II
Endah Wahyuni, ST., MSc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR GEDUNG HOTEL
HOLIDAY INN EXPRESS SURABAYA DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM RANGKA BRESING EKSENTRIK**

LAILATUL FITRIYAH
NRP. 3115 105 007

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D

Dosen Pembimbing II
Endah Wahyuni, ST., MSc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**MODIFICATION DESIGN OF HOTEL HOLIDAY INN
EXPRESS SURABAYA BUILDING STRUCTURE BY USING
ECCENTRICALLY BRACED FRAME**

LAILATUL FITRIYAH
NRP. 3115 105 007

Supervisor I
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D

Supervisor II
Endah Wahyuni, ST., MSc., Ph.D

CIVIL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR GEDUNG HOTEL HOLIDAY INN EXPRESS SURABAYA DENGAN MENGUNAKAN SISTEM RANGKA BRESING EKSENTRIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil
Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

LAILATUL FITRIYAH

NRP. 3115 105 007

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D

2. Endah Wahyuni, ST., MSc., Ph.D



SURABAYA

JULI, 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODIFIKASI DESAIN STRUKTUR GEDUNG HOTEL HOLIDAY INN EXPRESS SURABAYA DENGAN MENGUNAKAN SISTEM RANGKA BRESING EKSENTRIK

Nama Mahasiswa : Lailatul Fitriyah
NRP : 3115105007
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Endah Wahyuni, ST., MSc., Ph.D

ABSTRAK

Perencanaan gedung hotel Holiday Inn Express Surabaya akan dilakukan modifikasi perancangan menggunakan struktur baja dengan metode SRBE (Sistem Rangka Bresing Eksentrik). SRBE merupakan sebuah sistem bresing eksentrik yang memiliki link dan berfungsi sebagai pendisipasi energi ketika struktur menerima beban lateral.

Perhitungan modifikasi perencanaan struktur gedung hotel Holiday Inn Express Surabaya menggunakan sistem rangka bresing eksentrik (SRBE) telah dilakukan. Dimana perhitungan struktur mengacu pada SNI 1729-20015 “Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”, SNI 1726-2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung”, SNI 2847-2013 “Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung” dan “Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung” PPIUG 1983. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan dengan program bantu SAP 2000.

Dari analisa dan hasil perhitungan diperoleh struktur sekunder dan primer: pelat lantai menggunakan bondek SUPER FLOOR DECK $t = 0,75$ mm, untuk lantai top atap dan lantai 1 $t = 90$ mm, lantai atap dan lantai 2-14 $t = 110$ mm, balok anak terdapat 4 macam dimensi yang digunakan, dimensi untuk lantai top atap WF 350x175x6x9, lantai atap WF 450x200x9x14, lantai 2-14 WF

500x200x9x14, lantai 1 WF 400x200x8x13, sedangkan balok induk terdapat 4 macam dimensi juga yang digunakan, dimensi untuk lantai top atap WF 400x200x8x13, lantai atap WF 500x200x9x14, lantai 2-14 WF 600x200x10x15, lantai 1 WF 600x200x11x17, untuk dimensi kolom lantai 1-8 digunakan CFT 700x700x25 dan CFT 600x600x25 dimensi kolom lantai 9-top atap, link terdapat 2 macam dimensi yang digunakan yaitu WF 400x200x8x13 untuk lantai atap-top atap dan WF 500x200x10x16 untuk lantai 1-14, dimensi balok luar link yang digunakan sama dengan dimensi link, dimensi bresing yang digunakan WF 250x250x9x14 untuk lantai atap-top atap dan WF 300x300x10x15 untuk lantai 1-14. Pondasi struktur menggunakan tiang bor (borepile) diameter 120 cm dengan kedalaman 25 m dan tulangan yang digunakan adalah 26 D25 dengan sengkang D16-45 mm.

Kata kunci : Struktur Baja, Sistem Rangka Bresing Eksentrik, Link

MODIFICATION DESIGN OF HOTEL HOLIDAY INN EXPRESS SURABAYA BUILDING BY USING ECCENTRICALLY BRACED FRAME

Name of student : Lailatul Fitriyah
NRP : 3115105007
Department : Teknik Sipil FTSP-ITS
Supervisor 1 : Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D
Supervisor 2 : Endah Wahyuni, ST., MSc., Ph.D

ABSTRACT

Planning of Holiday Inn Express Surabaya will be modified design using steel structure with method of SRBE (Eccentric Bracing System Frame). SRBE is an eccentric bracing system that has links and serves as energy energies when the structure receives lateral loads.

The calculation design of the hotel building structure Holiday Inn Express Surabaya using the eccentric boss frame system (SRBE) has been done. Where the calculation of the structure refers to the SNI 1729-20015 "Procedures for Planning Steel Structure for Building Buildings", SNI 1726-2012 "Procedures Planning for Earthquake Resilience for Building Buildings", SNI 2847-2013 "Procedure Planning Concrete Structure For Buildings" and "Indonesia Building Regulation for Building" PPIUG 1983. Modelling and structural analysis is done by using SAP 2000 auxiliary program.

From the analysis and the calculation results obtained secondary and primary structure: the floor plate using SUPER FLOOR DECK $t = 0,75$ mm, for roof top floor and 1st floor $t = 90$ mm, roofing floor and 2-14th floor $t = 110$ mm, There are 4 dimensions used for secondary beam, the roof top floor is WF 350x175x6x9, roofing floor is WF 450x200x9x14, 2-14th floor WF 500x200x9x14, 1st floor WF 400x200x8x13, while the primary beam there are 4 kinds of dimensions are also used, Dimensions

for roof top floor WF 400×200×8×13, roofing floor WF 500×200×9×14, 2-14th floor WF 600×200×10×15, 1st floor WF 600×200×11×17, For dimensions of 1-8th floor columns used CFT 700x700x25 dan CFT 600x600x25 dimensions of 9- roof top floor columns, the link contained 2 different dimensions used WF 400×200×8×13 for roofing-roof top floor and WF 500×200×10×16 for 1-14th floor, beam outside link dimension are used same with link dimensions, braced dimension used WF 250x250x9x14 for roofing-roof top floor and WF 300x300x10x15 for 1-14th floor. The foundation of the structure uses a 120 cm diameter borepile with a depth of 25 m and the reinforcement used is 26 D25 with a D16-45 mm split.

Keywords : *Steel Structure, Eccentrically Braced Frame, Link*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Modifikasi Struktur Gedung Hotel Holiday Inn Express Surabaya dengan Menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik”. Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan kelulusan pada Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tersusunnya Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan. Untuk itu ucapan terima kasih ditujukan terutama kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS., Ph.D, selaku dosen pembimbing pertama tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
2. Ibu Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D, selaku dosen pembimbing kedua tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
3. Kedua orang tua, saudara-saudara, dan teman-teman tercinta, yang selalu memberikan dukungan dan doanya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, masih terdapat banyak kekurangan yang jauh dari sempurna, dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan dan wawasan serta pengalaman yang masih sedikit. Diharapkan segala kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga apa yang disajikan dapat memberi manfaat bagi pembaca dan semua pihak khususnya teman-teman dari bidang studi teknik sipil.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Struktur Tahan Gempa untuk Bangunan Baja	5
2.1.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	5
2.1.2 Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK)	6
2.1.3 Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE)	8
2.1.3.1 Gaya Dalam yang Bekerja pada <i>Link</i>	10
2.1.3.2 Kuat Elemen <i>Link Beam</i>	12
2.1.3.3 Panjang <i>Link Beam</i>	14
2.1.3.4 Sudut Rotasi <i>Link Beam</i>	16
2.1.3.5 Pendetailan <i>Link Beam</i>	17
2.2 Kolom Concrete Filled Tube (CFT)	18
2.3 Pondasi	19
BAB III METODOLOGI	23

3.1	Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir.....	23
3.2	Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir	24
3.2.1	Pengumpulan Data dan Studi Literatur	24
3.2.1.1	Pengumpulan Data	24
3.2.1.2	Studi Literatur	26
3.2.2	<i>Preliminary Design</i>	26
3.2.2.1	Perencanaan Struktur Sekunder	27
3.2.2.2	Perencanaan Struktur Utama	27
3.2.3	Perhitungan Beban Struktur	27
3.2.3.1	Beban Mati	28
3.2.3.2	Beban Hidup.....	28
3.2.3.3	Beban Gempa	28
3.2.3.4	Kombinasi Pembebanan.....	32
3.2.4	Permodelan dan Analisa Struktur.....	32
3.2.5	Kontrol Perencanaan Struktur Utama.....	32
3.2.5.1	Kontrol Desain	32
3.2.5.2	Kontrol Perhitungan Elemen Struktur Primer	33
3.2.5.3	Perencanaan Sambungan.....	39
3.2.6	Perhitungan Struktur Bawah	40
3.2.7	Kontrol Tebal Minimum Poer	41
3.2.7.1	Perencanaan <i>Bore Pile</i>	41
3.2.7.2	Perencanaan Poer	43
3.2.7.3	Perencanaan penulangan lentur	44
3.2.8	Penggambaran Output Desain.....	45
BAB IV PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER.....		47
4.1	Perencanaan Dimensi Pelat Lantai Gedung	47
4.1.1	Pelat Lantai Top Atap	47
4.1.2	Pelat Lantai Atap.....	49
4.1.3	Pelat Lantai 2 -14	51
4.1.4	Pelat Lantai 1.....	53
4.2	Perencanaan Balok Anak	55
4.2.1	Balok Anak Lantai Top Atap	55
4.2.2	Balok Anak Lantai Atap.....	62
4.2.3	Balok Anak Lantai 2-14	68

4.2.4	Balok Anak Lantai 1	75
4.3	Perencanaan Balok <i>Lift</i>	88
4.3.1	Balok Pembagi <i>Lift</i>	89
4.3.2	Balok Penumpu <i>Lift</i>	93
4.4	Perencanaan Tangga.....	101
4.4.1	Data Perencanaan Tangga	101
4.4.2	Perencanaan Jumlah Injakan Tangga	101
4.4.3	Perencanaan Anak Tangga	102
4.4.4	Perencanaan Bordes	110
4.4.5	Perencanaan Balok Utama Tangga.....	117
4.4.6	Perencanaan Balok Penumpu Bordes.....	125
4.4.7	Perencanaan Kolom Penumpu Bordes	132
BAB V PERMODELAN STRUKTUR.....		137
5.1	Permodelan Struktur.....	137
5.2	Pembebanan pada Struktur Utama	138
5.3	Kombinasi Pembebanan.....	140
5.4	Pembebanan Gempa Dinamis	140
5.4.1	Penentuan Klasifikasi Situs	141
5.4.2	Parameter respon spektrum rencana.....	142
5.4.3	Arah Pembebanan	143
5.4.4	Faktor Reduksi Gempa (R)	144
5.4.5	Faktor Keutamaan (I)	144
5.5	Kontrol Penerimaan Permodelan Struktur	144
5.6	Kontrol Desain	146
5.6.1	Kontrol Partisipasi Massa.....	146
5.6.2	Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental	148
5.6.3	Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum.....	149
5.6.4	Kontrol Batas Simpangan (<i>Drift</i>)	152
BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER		157
6.1	Perencanaan Elemen Struktur Primer.....	157
6.1.1	Balok Induk	157
6.1.1.1	Balok Induk Arah X	157
6.1.1.2	Balok Induk Arah Y	161
6.1.2	Kolom.....	166

6.1.3	<i>Link</i>	176
6.1.3.1	<i>Link</i> Arah X.....	176
6.1.3.2	<i>Link</i> Arah Y.....	182
6.1.4	Balok di luar <i>Link</i>	188
6.1.4.1	Balok di luar <i>Link</i> Arah X.....	188
6.1.4.2	Balok di luar <i>Link</i> Arah Y.....	192
6.1.5	Bresing	196
6.1.5.1	Bresing Arah X.....	196
6.1.5.2	Bresing Arah Y.....	202
6.1.6	Sambungan.....	209
6.1.6.1	Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk	209
6.1.6.2	Sambungan Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Bordes	213
6.1.6.3	Sambungan Balok Penumpu Bordes dengan Kolom.....	217
6.1.6.4	Sambungan Kolom CFT 700.700.25.25 dengan Kolom CFT 700.700.25.25	220
6.1.6.5	Sambungan Kolom CFT 700.700.25.25 dengan Kolom CFT 600.600.25.25	222
6.1.6.6	Sambungan Kolom dengan Balok Induk.....	226
6.1.6.7	Sambungan Batang Bresing	235
6.1.6.8	Sambungan Kolom CFT dengan Pedestal.....	239
BAB VII PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH		245
7.1	Umum.....	245
7.2	Data Tanah	245
7.3	Perencanaan Pondasi	246
7.3.1	Perencanaan Diameter <i>Borepile</i>	246
7.3.2	Perhitungan Daya Dukung <i>Borepile</i>	246
7.3.3	Perhitungan Daya Dukung Horizontal <i>Borepile</i> .	253
7.3.4	Perencanaan Poer	254
7.3.4.1	Kontrol Geser Pons Akibat Kolom	254
7.3.4.2	Kontrol Geser Pons Akibat <i>Borepile</i>	255
7.3.4.3	Penulangan Poer.....	256
7.4	Perencanaan Kolom Pedestal	256

7.5	Perencanaan Sloof	258
BAB VIII PENUTUP		263
8.1	Kesimpulan	263
8.2	Saran.....	264
DAFTAR PUSTAKA.....		265
LAMPIRAN DAN GAMBAR		268

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	5
Gambar 2.2.	Konfigurasi Sistem Rangka Bresing Konsentrik	7
Gambar 2.3.	Konfigurasi Link pada Beberapa Sistem Portal.....	9
Gambar 2.4.	Perbedaan Perilaku Tiga Model Sistem Rangka Baja	10
Gambar 2.5.	Distribusi Gaya pada Link	11
Gambar 2.6.	Gaya-gaya pada Elemen Link.....	12
Gambar 2.7.	Gaya yang bekerja pada link.....	13
Gambar 2.8.	Perbedaan Mode Keruntuhan Antara Link Lentur dan Geser	14
Gambar 2.9.	Sudut Rotasi Link Beam.....	17
Gambar 2.10.	Link Geser dengan Pengaku Badan (Web Stiffner)	18
Gambar 2.11.	Detailing pada Link Beam	18
Gambar 2.12.	Jenis-jenis Kolom CFT : Kolom CFT dengan penampang lingkaran (a) dan Kolom CFT dengan penampang persegi (b).....	19
Gambar 2.13.	Jenis Pondasi Dangkal	21
Gambar 3. 1	Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir	24
Gambar 3.2.	SS, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Kelas Situs SB	29
Gambar 3.3.	S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Kelas Situs SB	30
Gambar 3.4.	Spektrum Respon Desain.....	31
Gambar 3. 5	Kontrol Geser Pons Pada Poer Akibat Beban Kolom	44
Gambar 4. 1	Pelat Lantai Top Atap.....	48
Gambar 4. 2	Penulangan Pelat Lantai Top Atap	49
Gambar 4. 3	Pelat Lantai Atap	50
Gambar 4. 4	Penulangan Pelat Lantai Atap.....	51

Gambar 4. 5	Pelat Lantai 2-14.....	52
Gambar 4. 6	Penulangan Pelat Lantai 2-14	53
Gambar 4. 7	Pelat Lantai 1	54
Gambar 4. 8	Penulangan Pelat Lantai 1	55
Gambar 4. 9	Balok Anak Lantai Top Atap yang Ditinjau	56
Gambar 4. 10	Balok Anak Lantai Atap yang Ditinjau	63
Gambar 4. 11	Balok Anak Lantai 2-14 yang Ditinjau.....	69
Gambar 4. 12	Balok Anak B2 Lantai 1 yang Ditinjau	76
Gambar 4. 13	Balok Anak B3 Lantai 1 yang Ditinjau	82
Gambar 4. 14	Denah Lift.....	88
Gambar 4. 15	Potongan Melintang Lift.....	89
Gambar 4. 16	Balok Pembagi Lift.....	90
Gambar 4. 17	Balok Penumpu Lift.....	94
Gambar 4. 18	Model Pembebanan Balok Penumpu Lift.....	95
Gambar 4. 19	Denah Tangga.....	102
Gambar 4. 20	Pelat Anak Tangga.....	103
Gambar 4. 21	Pembebanan pada Pengaku Anak Tangga	106
Gambar 4. 22	Denah Bordes	110
Gambar 4. 23	Sketsa Pembebanan pada Balok Utama.....	119
Gambar 4. 24	Diagram Momen (M) Balok Utama Tangga.....	119
Gambar 4. 25	Diagram Gaya Geser (V) Balok Utama Tangga.	120
Gambar 4. 26	Diagram Gaya Aksial (N) Balok Utama Tangga	120
Gambar 4. 27	Lendutan yang Terjadi pada Balok Utama Tangga	121
Gambar 4. 28	Reaksi Akibat Kombinasi Beban 1,2D+1,6L	125
Gambar 4. 29	Reaksi Akibat Beban Mati.....	126
Gambar 4. 30	Reaksi Akibat Beban Hidup	126
Gambar 5. 1	Denah Struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya	137
Gambar 5. 2	Permodelan 3 Dimensi Struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya.....	138
Gambar 5. 3	Grafik Spektral Percepatan Gempa Wilayah Surabaya dengan Periode Ulang 1000 Tahun.....	143
Gambar 5. 4	Area Pembebanan pada Kolom yang Ditinjau....	145

Gambar 5. 5	Portal yang Ditinjau untuk Simpangan pada Struktur	154
Gambar 5. 6	Simpangan yang Terjadi pada Struktur	154
Gambar 6. 1	Lokasi B alok Induk Frame 1387	157
Gambar 6. 2	Diagram Momen dan Geser pada Balok Induk Frame 1387	158
Gambar 6. 3	Diagram Lendutan Akibat Kombinasi Pembebanan 1D+1L pada Balok Induk Frame 1387	158
Gambar 6. 4	Lokasi Balok Induk Frame 1324	162
Gambar 6. 5	Diagram Momen dan Geser pada Balok Induk Frame 1324	162
Gambar 6. 6	Diagram Lendutan Akibat Kombinasi Pembebanan 1D+1L pada Balok Induk Frame 1324	163
Gambar 6. 7	Lokasi Kolom Frame 734	166
Gambar 6. 8	Diagram Gaya Aksial pada Kolom Frame 734	167
Gambar 6. 9	Diagram Momen Arah X pada Kolom Frame 734	167
Gambar 6. 10	Diagram Momen Arah Y pada Kolom Frame 734	168
Gambar 6. 11	Penampang Kolom Komposit CFT dengan Profil HSS 700x700x25x25	169
Gambar 6. 12	Lokasi Link Frame 824	177
Gambar 6. 13	Diagram Gaya Geser pada Link Frame 824	177
Gambar 6. 14	Lokasi Link Frame 695	183
Gambar 6. 15	Diagram Gaya Geser pada Link Frame 695	183
Gambar 6. 16	Lokasi Balok Luar Link Frame 825	188
Gambar 6. 17	Diagram Gaya Geser pada Balok Luar Link Frame 825	189
Gambar 6. 18	Lokasi Balok Luar Link Frame 526	193
Gambar 6. 19	Diagram Gaya Geser pada Balok Luar Link Frame 526	193
Gambar 6. 20	Lokasi Bresing Frame 850	197
Gambar 6. 21	Diagram Momen Arah X pada Bresing Frame 850	197

Gambar 6. 22 Diagram Momen Sumbu Y pada Bresing Frame 850	198
Gambar 6. 23 Lokasi Bresing Frame 697	203
Gambar 6. 24 Diagram Momen Arah X pada Bresing Frame 697	203
Gambar 6. 25 Diagram Momen Sumbu Y pada Bresing Frame 697	204
Gambar 6. 26 Detail Sambungan Balok Induk Balok Anak	213
Gambar 6. 27 Detail Sambungan Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Bordes	216
Gambar 6. 28 Detail Sambungan Balok Penumpu Bordes dengan Kolom	220
Gambar 6. 29 Detail Sambungan Kolom CFT 700.700.25.25 dengan Kolom CFT 700.700.25.25	222
Gambar 6. 30 Detail Sambungan Kolom CFT 700.700.25.25 dengan Kolom CFT 700.700.25.2	226
Gambar 6. 31 Detail Sambungan Kolom dengan Balok Induk	235
Gambar 6. 32 Sambungan Batang Bresing	239
Gambar 6. 33 Sambungan Kolom CFT dengan Pedestal	240
 Gambar 7. 1 Diagram Interaksi Borepile Akibat Kombinasi Beban Gempa Maksimum Menggunakan Program Bantu pcaColoumn	 249
Gambar 7. 2 Diagram Momen pada Borepile	250
Gambar 7. 3 Diagram Momen Maksimum pada Borepile Akibat Gaya Lateral Gempa	251
Gambar 7. 4 Diagram Interaksi Borepile Akibat Momen Maksimum Menggunakan Program Bantu pcaColoumn	252
Gambar 7. 5 Output Kolom Pedestal menggunakan Program Bantu PCAcol	257

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek	25
Tabel 3.2.	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik	26
Tabel 3. 3	Base coefficient α Decourt et all (1996).....	42
Tabel 3. 4	Shaft coefficient β Decourt et all (1996).....	43
Tabel 3. 5	Korelasi Nilai Ks	43
Tabel 5. 1	Hasil Data Tanah Berdasarkan N-SPT	141
Tabel 5. 2	Parameter Respon Gempa Wilayah Surabaya untuk Kelas Situs SE (Tanah Lunak).....	142
Tabel 5. 3	Output Joint Reaction dengan Kombinasi Beban 1D+1L pada Kolom As F-6 Menggunakan Program Bantu SAP 2000 v14	145
Tabel 5. 4	Rasio Partisipasi Massa Hotel Holiday Inn Express Surabaya	147
Tabel 5. 5	Perioda dan Frekuensi Struktur	148
Tabel 5. 6	Reaksi Dasar Struktur.....	150
Tabel 5. 7	Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa.....	150
Tabel 5. 8	Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala.....	151
Tabel 5. 9	Kontrol Simpangan yang Terjadi Akibat Beban Gempa pada Arah X	155
Tabel 5. 10	Kontrol Simpangan yang Terjadi Akibat Beban Gempa pada Arah Y	155
Tabel 6. 1	Rekap Dimensi Struktur Primer.....	208
Tabel 7. 1	Data Tanah N SPT Koreksi Terhadap Muka Air	246

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gedung hotel Holiday-Inn Express Surabaya yang terletak di Jalan Kedungdoro VI No. 54-58 Sawahan, Surabaya merupakan gedung yang terdiri dari 16 lantai dan struktur bangunan yang digunakan adalah struktur bangunan beton bertulang. Kondisi tanah pada daerah yang dibangun termasuk tanah lunak sehingga membutuhkan berat bangunan yang seringnya mungkin namun memiliki kekuatan struktur yang sebesar mungkin untuk menahan gaya lateral (gempa dan angin).

Perencanaan suatu struktur bangunan tahan gempa merupakan suatu kebutuhan yang tidak dapat dihindari. Tujuan desain bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa. Sehingga dalam merancang suatu bangunan tahan gempa harus mengutamakan keselamatan dan kenyamanan, dimana kegagalan direncanakan hanya terjadi pada daerah *non structural*. Oleh karena itu struktur bangunan gedung hotel Holiday-Inn Express Surabaya yang semula menggunakan struktur beton bertulang akan dimodifikasi menggunakan struktur baja.

Baja memiliki sifat daktil (tidak getas), dimana baja mampu berdeformasi tanpa runtuh secara tiba-tiba apabila terjadi beban yang berlebihan. Ini memberikan cukup waktu untuk evakuasi bila terjadi gempa. Konstruksi baja juga memiliki berat yang relatif lebih ringan dari pada material lain tetapi juga memiliki kemampuan yang cukup tinggi, hampir tidak memiliki perbedaan nilai muai dan susut, dan dalam hal pelaksanaan jauh lebih cepat dibanding material lain.

Sistem struktur tahan gempa untuk bangunan baja terdiri dari 3 macam, yaitu sistem rangka pemikul momen

(SRPM), sistem rangka bresing konsentrik (SRBK), dan sistem rangka bresing eksentrik (SRBE). Akan tetapi SRBE mampu menahan gaya lateral yang terjadi dengan lebih baik dikarenakan SRBE mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan SRBK. Tingginya nilai daktilitas pada SRBE diakibatkan oleh adanya elemen *link* yang berfungsi sebagai pendisipasi energi ketika struktur menerima beban gempa. Pendisipasi energi ini diwujudkan dalam bentuk plastifikasi pada elemen *link* tersebut.

Berdasarkan kondisi tanah di lapangan dan hasil dari perhitungan analisa kategori desain seismik adalah bangunan termasuk dalam kategori desain D, maka salah satu sistem rangka baja yang dapat digunakan adalah sistem rangka bresing eksentrik (SRBE).

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana merencanakan struktur sekunder yang meliputi pelat, balok anak dan tangga?
2. Bagaimana merencanakan struktur primer yang meliputi balok, kolom, bresing eksentrik dan *link*?
3. Bagaimana memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan program bantu SAP 2000 v14?
4. Bagaimana merencanakan sambungan?
5. Bagaimana merencanakan pondasi?
6. Bagaimana mengilustrasikan hasil perencanaan struktur dalam gambar teknik?

1.3 Tujuan

1. Merencanakan struktur sekunder yang meliputi pelat, balok anak dan tangga.
2. Merencanakan struktur primer yang meliputi balok, kolom, bresing eksentrik dan *link*.
3. Memodelkan dan melakukan analisis struktur dengan program bantu SAP 2000 v14.

4. Merencanakan sambungan.
5. Merencanakan pondasi.
6. Mengilustrasikan hasil perencanaan struktur dalam gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- a. Menggunakan SNI 03-1729-2015 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung.
- b. Menggunakan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- c. Tidak menghitung anggaran biaya.
- d. Tidak membahas metode pelaksanaan proyek
- e. Tidak mempertimbangkan sistem sanitasi dan instalasi listrik gedung.
- f. Tidak membahas dari segi arsitektural.
- g. Tidak memperhitungkan *basement*.

1.5 Manfaat

Manfaat yang bisa diperoleh dari tugas akhir ini adalah:

- a. Dapat dijadikan referensi dalam perencanaan gedung baja bertingkat yang tahan terhadap gaya gempa dengan menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik.
- b. Memberi alternatif sistem struktur lain yang lebih efisien

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

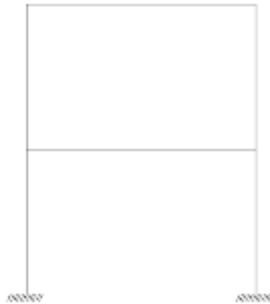
2.1 Sistem Struktur Tahan Gempa untuk Bangunan Baja

Salah satu aspek penting dalam mendesain bangunan tahan gempa adalah daktilitas. Untuk memikul gaya lateral yang dialami oleh bangunan, struktur harus memiliki daktilitas yang memadai di daerah *joint* atau elemen struktur tahan gempa seperti bresing, *link*, atau dinding geser. Sistem struktur tahan gempa untuk bangunan baja dibedakan menjadi berikut:

- a. Sistem rangka pemikul momen (SRPM)
- b. Sistem rangka bresing konsentrik (SRBK)
- c. Sistem rangka bresing eksentrik (SRBE)

2.1.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dalam yang mana komponen-komponen struktur dan *joint-jointnya* menahan gaya-gaya dalam yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial (Purwono, 2005).



Gambar 2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)
(Sumber: Bruneau, 1998)

Berdasarkan daktilitasnya, SRPM terbagi dalam 2 kategori, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

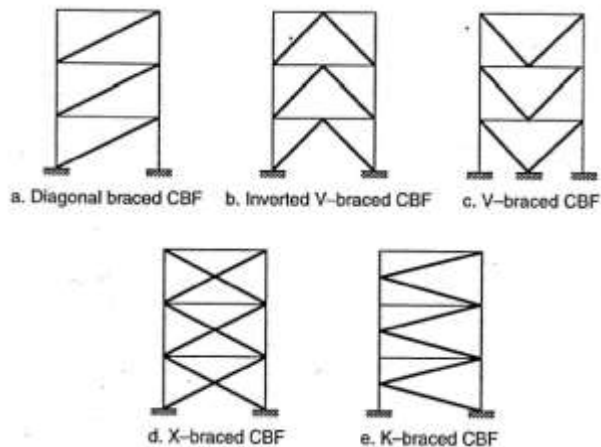
SRPMK adalah suatu sistem rangka pemikul momen yang memiliki deformasi inelastik cukup besar pada segmen khusus saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana. Kekakuan (*stiffness*) SRPMK lebih kecil dibandingkan sistem struktur lainnya dikarenakan sistem struktur ini memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi.

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

SRPMB adalah sistem rangka pemikul momen yang memiliki deformasi inelastik terbatas pada komponen struktur dan sambungan-sambungannya akibat gaya gempa rencana. Tingkat daktilitas SRPMB adalah yang paling rendah diantara sistem struktur lainnya dikarenakan kekakuannya (*stiffness*) lebih besar dibandingkan SRPMK.

2.1.2 Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK)

SRBK adalah sistem penahan gaya lateral dengan karakteristik kekakuan elastik yang tinggi. Hal ini bertolak belakang dengan SRPM yang hanya bisa digunakan sebagai penahan momen. Kekakuan yang tinggi diperoleh dari diagonal *brace* yang menahan gaya lateral pada struktur rangka yang meningkatkan aksi gaya dalam aksial dan aksi lentur yang kecil. Rangka bresing pada umumnya dianalisa dan didesain dengan mengabaikan momen pada sistem tersebut (AISC, 2005). Pada sistem ini elemen bresing diharapkan mampu berdeformasi inelastik yang besar tanpa terjadi kehilangan yang signifikan pada kekuatan dan kekakuan struktur.



Gambar 2.2. Konfigurasi Sistem Rangka Bresing Konsentrik
(Sumber: Engelhart, Kasai dan Popov, 1986)

Kategori struktur pada sistem struktur rangka bresing konsentrik (SRBK) dibagi menjadi dua, yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK).

a. Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB)

Pada sistem SRBKB ini struktur dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari gempa rencana.

b. Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK)

Pada sistem SRBKK ini struktur dapat berdeformasi inelastik cukup besar yang diakibatkan gaya gempa rencana. Sistem SRBKK memiliki daktilitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan SRBKB, hal ini dikarenakan deformasi pada SRBKK lebih besar dari deformasi pada SRBKB dan penurunan

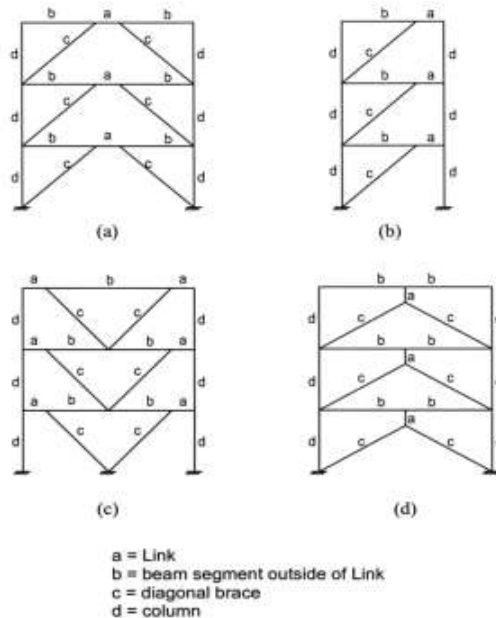
kekuatan pada SRBKK lebih kecil pada saat terjadi tekuk pada bresing.

Maka secara umum, sistem struktur SRBK memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur SRPM karena adanya elemen bresing pada struktur. Namun demikian, kekakuan yang besar pada SRBK mengakibatkan deformasi yang terjadi pada struktur lebih terbatas sehingga daktilitas struktur SRBK lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem struktur SRPM.

2.1.3 Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE)

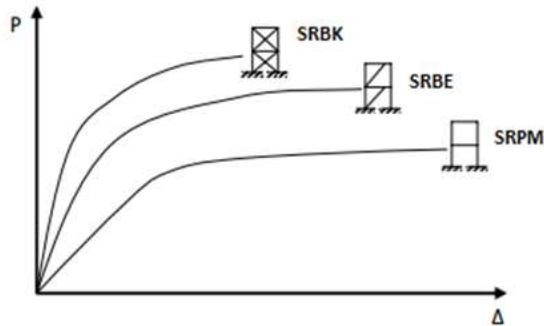
Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) adalah sistem struktur yang elemen bresing diagonalnya tidak bertemu pada suatu titik karena adanya elemen penghubung atau yang disebut *link*. SRBE merupakan kombinasi gabungan dari Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) yang sangat daktil dan Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) yang memiliki kekakuan dan kekuatan yang cukup baik. Karakteristik yang membedakan SRBE dengan desain struktur tahan gempa SRPM dan SRBK adalah adanya penghubung yang terdapat pada setidaknya salah satu ujung dari bresing yang disebut sebagai *link* (Budiono dan Yurisman, 2011).

Elemen ini sangat penting dalam desain SRBE karena berfungsi untuk menyerap energi gempa. Penyerapan energi gempa dilakukan melalui mekanisme pembentukan sendi plastis pada elemen *link*.



Gambar 2.3. Konfigurasi Link pada Beberapa Sistem Portal
(Sumber: AISC, 2005)

Pada gambar 2.4 dijelaskan tentang kurva hubungan antara gaya lateral dengan perpindahan yang terjadi pada SRBK, SRBE, dan SRPM. SRBE dapat memberikan perilaku struktur yang di harapkan saat terjadi gempa yaitu terlalu kaku seperti halnya SRBK tetapi juga tidak terlalu memiliki deformasi yang besar seperti SRPM.



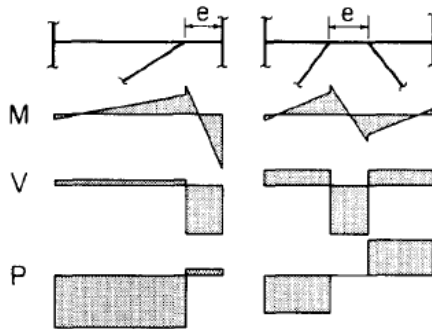
Gambar 2.4. Perbedaan Perilaku Tiga Model Sistem Rangka Baja
(Sumber: Moestopo, 2006)

Meskipun SRBE bukan merupakan konsep yang baru, aplikasi sistem ini pada sistem struktur tahan gempa sangat dapat diterima. Ketahanan bresing eksentrik pada konstruksi tahan gempa sangat tergantung pada kestabilan sistem struktur dan sifat inelastik di bawah beban *cyclic lateral*. Pada desain struktur SRBE yang baik, aktifitas inelastik dibawah beban siklik dibatasi terutama hanya terjadi pada elemen *link* yang didesain untuk dapat mengalami deformasi inelastik yang besar tanpa kehilangan kekuatan. Pada struktur SRBE ini, elemen-elemen struktur diluar *link* (balok, kolom dan bresing) didesain berdasarkan kapasitas *link*. Dengan membuat elemen *link* lebih lemah dari elemen struktur lainnya, kehancuran daktail diharapkan terjadi pada elemen *link* dan mengantisipasi agar elemen-elemen diluar *link* mengalami kehancuran non daktail, seperti *buckling* pada elemen bresing.

2.1.3.1 Gaya Dalam yang Bekerja pada *Link*

Distribusi gaya dalam struktur yaitu momen (M) , Geser (V), dan axial (P) pada balok dan link dari SRBE

pada saat terkena beban lateral (gempa) dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.5. Distribusi Gaya pada Link

Terdapat dua keadaan yang bisa disimpulkan berdasarkan gambar 2.5, yaitu bahwa *link* mendapatkan gaya geser yang tinggi di semua bagian *link* dan momen yang besar pada ujung-ujungnya. Jika *link* terlalu pendek, pada saat penambahan beban lateral *link* akan leleh terhadap geser dengan momen yang relatif kecil pada ujung-ujungnya, sehingga struktur portal menjadi lebih kaku mendekati kekakuan struktur SRBK. Sedangkan pada suatu kasus lain jika *link* terlalu panjang, maka momen plastis pada sendi-sendi di ujung *link*, dengan sedikit atau tidak akan mengalami leleh akibat geser, sehingga kekakuan struktur portal SRBE mendekati kekakuan struktur SRPM. Dapat dikatakan bila *link* terlalu pendek akan disebut *link* geser dan *link* yang terlalu panjang akan disebut sebagai *link* momen. Energi disipasi dan kegagalan struktur dari kedua jenis *link* ini pun akan berbeda (Popov dan Engelhardt, 1989).

Untuk mendesain SRBE maka pendekatan umum yang harus dilakukan agar mendapatkan kekuatan struktur yang baik adalah :

1. Tiga variabel utama dalam mendesain SRBE adalah konfigurasi pengaku, panjang link, dan profil link yang dipakai (Roy Becker, 1996)
2. Link adalah elemen terlemah dalam SRBE, dan elemen struktur yang lain seperti balok, kolom, dan sambungan harus lebih kuat dari link (Engelhardt, 2007)
3. Dapat dipasang *stiffener* dan pengaku lateral untuk menunjang daktilitas (Engelhardt, 2007)
4. Cek *link* agar dapat memenuhi daktilitas yang diperlukan (Engelhardt, 2007)

2.1.3.2 Kuat Elemen *Link Beam*

Elemen *link* merupakan bagian dari balok yang direncanakan untuk mendisipasi energi pada saat terjadinya gempa kuat dan berperilaku sebagai balok pendek yang kedua sisinya bekerja gaya geser dengan arah yang berlawanan serta momen lentur yang diakibatkan oleh gaya geser tersebut. Karena gaya geser yang berlawanan arah maka momen yang bekerja pada ujung-ujung elemen *link* mempunyai besar dan arah yang sama seperti yang terlihat pada gambar 2.6.

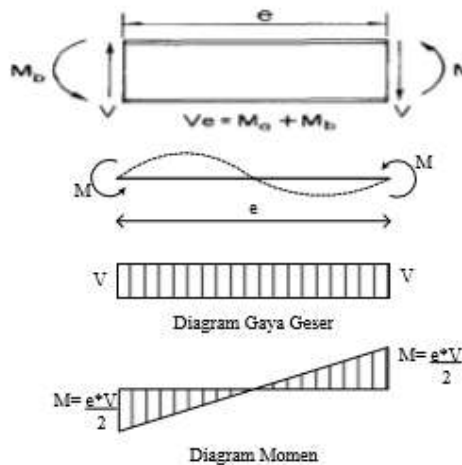


Gambar 2.6. Gaya-gaya pada Elemen *Link*
(Sumber: Yurisman, 2010)

Deformasi yang dihasilkan berbentuk S dengan titik balik pada tengah bentang dan besarnya momen yang bekerja adalah sebesar 0.5 kali besar gaya geser dikali dengan panjang link. Plastifikasi yang terjadi pada suatu elemen link disebabkan karena kedua gaya tersebut.

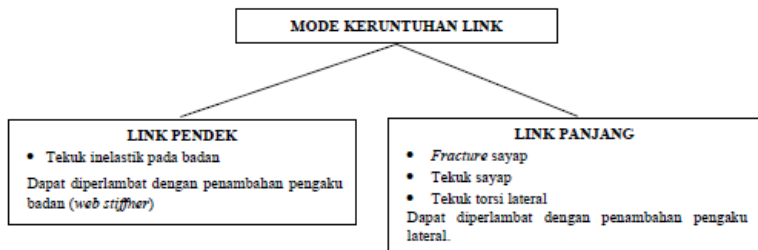
Gambaran gaya yang bekerja pada elemen link diperlihatkan pada Gambar 2.7. Deformasi pasca leleh sebuah balok *link* disebabkan oleh kelelahan geser, kelelahan lentur atau kombinasi keduanya. Dengan menggunakan sebuah model analitis sederhana dapat ditentukan suatu batasan yang tepat antara mekanisme lentur dan mekanisme geser. Batasan ini dapat digambarkan dengan menggunakan sebuah bentangan geser yang leleh secara serempak dalam kondisi lentur dan geser.

Plastifikasi yang terjadi pada elemen *link* disebabkan oleh momen lentur dan gaya geser, oleh karena itu maka perilaku elemen *link* secara garis besar dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu *link* lentur (*moment link*) dan *link* geser (*shear link*). Kelelahan yang terjadi pada elemen *link* dapat berupa kelelahan geser atau kelelahan lentur karena kelelahan ini sangat tergantung pada panjang *link* tersebut (Yurisman, 2010).



Gambar 2.7. Gaya yang bekerja pada *link*
(Sumber: Engelhart dan Popov, 1989; Becker dan M.Ishler, 1996)

Sesuai dengan fungsinya yang menyerap energi lewat mekanisme sendi plastis (*fully plastic hinge mechanism*) maka *link* tidak boleh mengalami tekuk elastik dan tekuk inelastik (*partially plastic buckling*) sebelum kapasitas rotasi sendi plastis yang disyaratkan dalam peraturan tercapai. Oleh karena itu dalam pemilihan penampang *link* yang akan dipakai sesuai dengan modulus elastisitas (E) dan mutu baja yang dipakai (f_y) telah ditetapkan batasan kelangsingan yang harus dipenuhi sesuai dengan peraturan yang berlaku.



Gambar 2.8. Perbedaan Mode Keruntuhan Antara Link Lentur dan Geser
(Sumber: Bruneau M, 1998)

2.1.3.3 Panjang *Link Beam*

Panjang *link* (e) yang disyaratkan disesuaikan dengan klasifikasi *link* berdasarkan perbedaan panjang pada AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. Mekanisme kelelahan *link*, kapasitas energi disipasi dan mode kegagalan sangat erat hubungannya dengan faktor panjang dari *link*. Untuk *link* pendek, perilaku inelastik dominan terhadap gaya geser, sebaliknya untuk *link* panjang perilaku inelastik didominasi oleh lentur. Untuk *link* antara (*intermediate link*), kelelahan dipengaruhi oleh geser dan lentur.

Semakin pendek *link*, maka semakin besar pengaruh gaya geser terhadap perilaku inelastik. Kelelahan geser terjadi seragam sepanjang *link*. Untuk *link* yang sangat pendek gaya geser *link* mencapai kapasitas geser plastis (V_p) sebelum momen ujung mencapai momen plastis (M_p) dan *link* leleh akibat geser membentuk sebuah sendi geser. *Link* geser mempunyai sifat sangat daktil dengan kapasitas inelastik yang melebihi kapasitas geser badan, sehingga kegagalan *buckling* terjadi pada *web* (Yurisman, 2010).

Berdasarkan ukuran panjang *link* (e), dikenal klasifikasi jenis *link* sebagai berikut:

Tabel 2.1. Klasifikasi *link*

Jenis Link	Syarat Link	Keterangan
Geser murni	$e \leq \frac{1,6M_p}{V_p}$	Leleh pada link didominasi oleh geser penuh
Dominan geser	$\frac{1,6M_p}{V_p} \leq e \leq \frac{2,6M_p}{V_p}$	Leleh pada link didominasi oleh geser
Dominan lentur	$\frac{2,6M_p}{V_p} \leq e \leq \frac{5M_p}{V_p}$	Leleh pada link didominasi oleh lentur
Lentur murni	$e \geq \frac{5M_p}{V_p}$	Leleh pada link disebabkan oleh lentur

Dimana:

M_p = momen plastis penampang *link*

= $Z_x \cdot f_y$

V_p = gaya geser plastis penampang (badan) *link*

= $0,6 \cdot f_y \cdot d \cdot t_w$

F_y = tegangan leleh nominal penampang

Z_x = modulus plastis penampang *link*

d = tinggi (badan) *link*

$$\begin{aligned}
 &= h - 2t_f \\
 t_w &= \text{tebal badan} \\
 t_f &= \text{tebal sayap}
 \end{aligned}$$

Link geser atau link pendek memiliki kinerja yang baik dalam mendisipasi energi gempa melalui deformasi inelastik geser pada pelat badan *link* yang ditunjukkan dengan kurva histeresis yang ‘gemuk’ dan stabil. Dengan demikian, variasi panjang *link* akan menentukan tingkat kinerja SRBE (Moestopo dan Yudi, 2006).

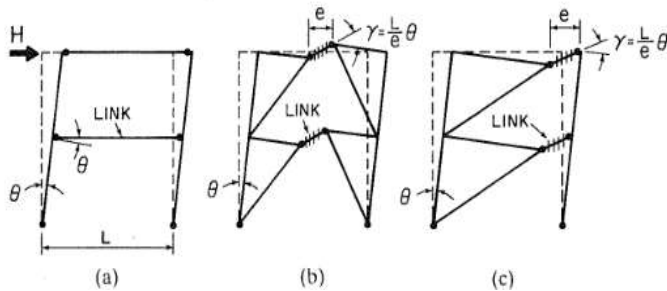
2.1.3.4 Sudut Rotasi *Link Beam*

Sudut rotasi link beam adalah sudut inelastis antara link beam dan balok di samping *link* ketika besarnya total *story drift* sama dengan besarnya desain *story drift*, θ . Pada desain struktur penahan gempa dengan SRBE perlu diperhitungkan besar rotasi plastis yang akan dialami oleh *link*. Pada tahap ini lebih mudah menggunakan mekanisme disipasi energi (juga disebut mekanisme kehancuran). Gambar 2.9 menunjukkan mekanisme kehancuran dari SRBE. Pada setiap kasus θ merupakan besar penyimpangan yang terjadi pada rangka, besar penyimpangan pada sendi plastis terhadap balok juga disimbolkan θ . Untuk SRBE besar dari kebutuhan rotasi link (γ) harus lebih besar dari θ , dengan perumusan:

$$\gamma = \frac{L}{e} \theta \quad (2.1)$$

Dimana:

- γ = Rotasi link
- L = Panjang balok
- e = Panjang link
- θ = Besar penyimpangan struktur

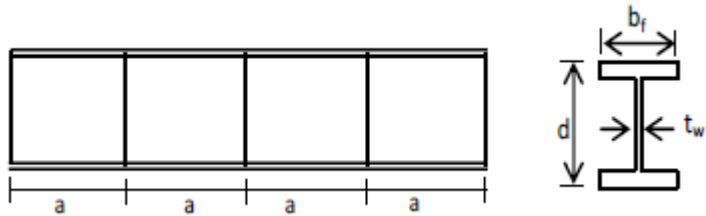


Gambar 2.9. Sudut Rotasi *Link Beam*
 (Sumber: Engelhart dan Popov, 1989)

2.1.3.5 Pendetailan *Link Beam*

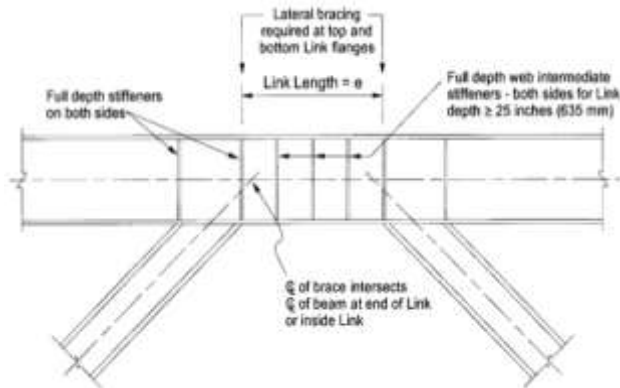
Pendetailan pada *web link beam* yaitu berupa pemberian *web stiffener* dapat memberikan perilaku *link beam* yang stabil, daktail serta terkontrol dibawah pembebanan *cyclic* (gempa). *Full depth stiffener* dibutuhkan pada kedua ujung *link* untuk mentransfer gaya geser pada elemen penahan, sehingga membutuhkan pengaku *web* untuk mencegah terjadinya tekuk (*buckling*). Dan *full depth stiffener* juga dibutuhkan ditengah-tengah *link* (*intermediate web stiffener*) agar efektif dalam menahan tekuk geser pada *web link* dan dalam membatasi pengurangan kekuatan (*strength degradation*) akibat adanya *flange local buckling* dan lateral torsional *buckling*. Pengaku disambungkan ke *link web* dan *link flanges* dengan cara dilas (*fillet welded*).

Gambar 2.10 menunjukkan *link* geser profil WF dengan jarak pengaku badan sebesar a . berdasarkan AISC 2005 jarak pengaku badan (*intermediate web stiffener*) untuk *link* geser tidak boleh kurang dari $30t_w - d/5$ dan ketebalan pengaku tidak boleh kurang dari t_w atau 10 mm.



Gambar 2.10. *Link Geser dengan Pengaku Badan (Web Stiffener)*

(Sumber: Kasai dan Popov, 1986)

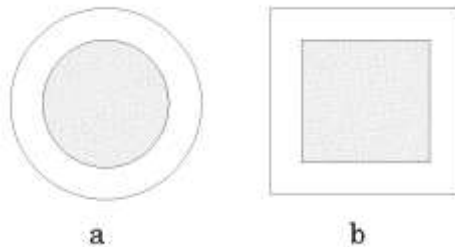


Gambar 2.11. *Detailing pada Link Beam*

(Sumber: Engelhart, Kasai dan Popov, 1986)

2.2 Kolom Concrete Filled Tube (CFT)

Kolom *Concrete Filled Tube* (CFT) merupakan salah satu jenis dari kolom komposit yang terdiri dari tabung baja diisi beton. Berdasarkan AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, kolom komposit adalah kolom baja yang dibuat dengan cara dirol yang diselimuti dengan beton struktural atau pipa tabung baja yang diisi dengan beton struktural.



Gambar 2.12. Jenis-jenis Kolom CFT : Kolom CFT dengan penampang lingkaran (a) dan Kolom CFT dengan penampang persegi (b)
(Sumber: Shah, 2014)

Menurut Schneider, 2004, kolom CFT memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan kolom *reinforced concrete* (RC) diantaranya:

- a. Selain berfungsi sebagai struktur, tabung baja juga berfungsi sebagai bekisting permanen untuk beton
- b. Beton dapat menunda terjadinya tekuk lokal yang diakibatkan oleh tabung baja
- c. Tabung baja mencegah keruntuhan beton yang berlebihan
- d. Menggabungkan sifat kekakuan material baja dan sifat tekan beton sehingga memperoleh kekuatan yang lebih besar dan lebih kaku

Dalam penggunaan tabung baja diisi beton, tabung baja dapat berfungsi meningkatkan sifat daktilitas dari beton pengisi. Untuk tabung bajanya sendiri berfungsi memberikan kekekangan pada beton, menahan beban aksial dan momen lentur sehingga tabung baja akan mengalami tegangan biaksial (Schneider, 2004).

2.3 Pondasi

Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah. Pondasi

merupakan elemen paling penting karena berfungsi untuk menopang bangunan serta seluruh beban bangunan tersebut dan meneruskan beban-beban bangunan itu ke tanah atau batuan yang ada di bawahnya.

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu struktur dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi tersebut berdasarkan fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh pondasi, besarnya beban dan beratnya bangunan atas, kondisi tanah dimana bangunan tersebut didirikan dan berdasarkan tinjauan dari segi ekonomi.

Tipe pondasi bangunan dibedakan menjadi dua yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*), tergantung dari batas letak lapisan tanah kerasnya dan perbandingan kedalaman dengan lebar pondasi. Pondasi dangkal kedalamannya kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$) dan dapat digunakan jika lapisan tanah kerasnya terletak dekat dengan permukaan tanah. Sedangkan pondasi dalam digunakan jika lapisan tanah keras berada jauh dari permukaan tanah.

Pondasi dapat digolongkan berdasarkan kemungkinan besar beban yang harus dipikul oleh pondasi:

1. Pondasi dangkal

Pondasi dangkal disebut juga pondasi langsung, pondasi ini digunakan apabila lapisan tanah pada dasar pondasi mampu mendukung beban-beban yang ditopang terletak tidak dalam (berada relatif dekat dengan permukaan tanah). Macam-macam pondasi dangkal adalah sebagai berikut:

a. Pondasi telapak

Pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom atau pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dengan

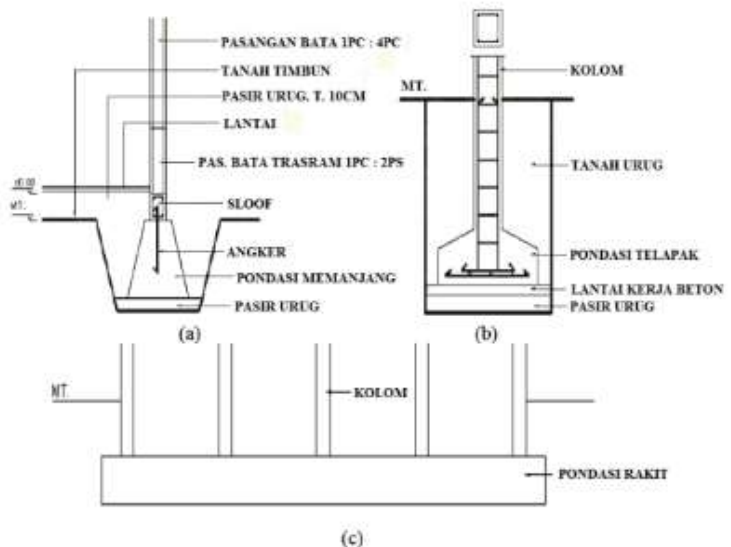
kualitas baik yang mampu mendukung bangunan itu pada permukaan tanah atau sedikit dibawah permukaan tanah. (Gambar 2.13. (a))

b. Pondasi memanjang

Pondasi yang digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat sehingga bila dipakai pondasi telapak sisinya akan terhimpit satu sama lainnya. (Gambar 2.13. (b))

c. Pondasi rakit (raft foundation)

Pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat disemua arahnya, sehingga bila menggunakan pondasi telapak, sisi- sisinya berhimpit satu sama lainnya. (Gambar 2.13. (c))



Gambar 2.13. Jenis Pondasi Dangkal
(Sumber: Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000)

2. Pondasi dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan, pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan, seperti:

a. Pondasi sumuran (*pier foundation*)

Pondasi sumuran merupakan pondasi peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebar (B) lebih kecil atau sama dengan 4, sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$.

b. Pondasi tiang (*pile foundation*)

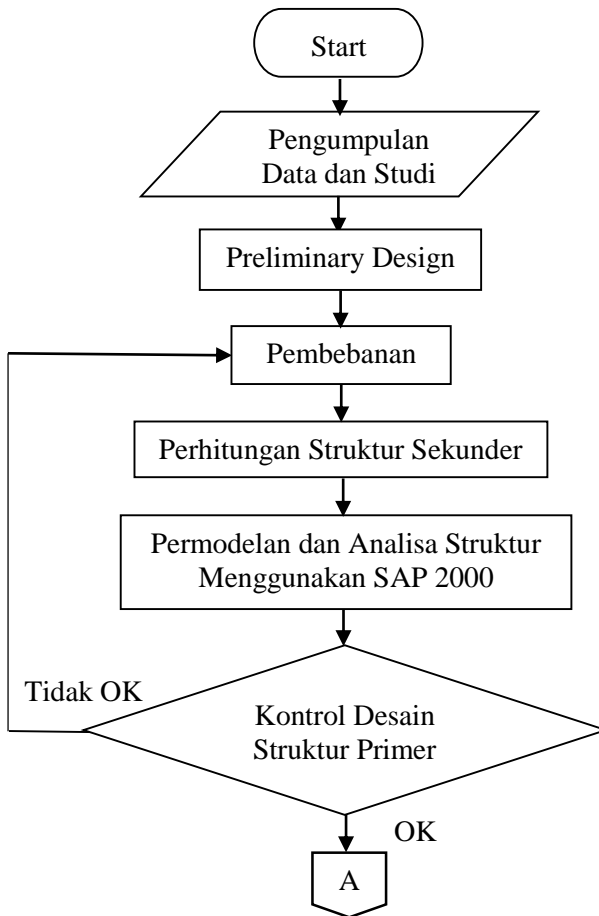
Menurut *Dr.Ir.L.D.Wesley* dalam bukunya *Mekanika Tanah 1*, pondasi dalam seringkali diidentikkan sebagai pondasi tiang yaitu suatu struktur pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

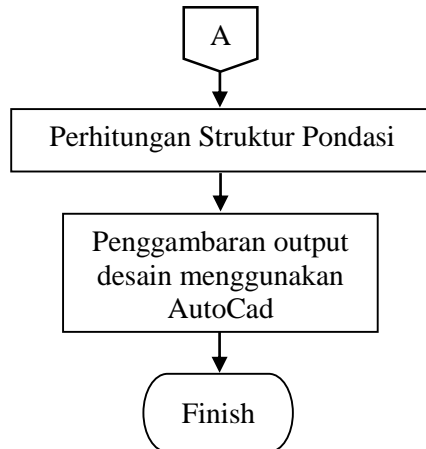
Salah satu alternative pemakaian pondasi dalam adalah tiang bor. Istilah tiang bor dikarenakan ketika pemasangan tiang tersebut, dibuat lubang pada tanah di kedalaman tertentu dengan cara dibor, kemudian dimasukan rangkaian tulangan dan selanjutnya dimasukan adukan beton. Terkadang penulangan dipasang tidak sampai dasar tiang. Hal ini dilakukan untuk pertimbangan efisiensi (Djoko Untung:2010).

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir

3.2 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

Dari diagram alur di atas dapat dijelaskan metodologi yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

3.2.1 Pengumpulan Data dan Studi Literatur

3.2.1.1 Pengumpulan Data

Mencari data umum bangunan dan data tanah gedung Hotel Holiday-Inn Express.

a. Data umum bangunan sebelum dimodifikasi

Nama Gedung : Hotel Holiday Inn-Express

Lokasi : Jl. Kedungdoro VI 54-58,
Sawahan Surabaya

Fungsi : Hotel

Jumlah Lantai : 15 lantai, 1 lantai atap (*roof top*),
dan 1 lantai semi *basement*

Tinggi Gedung : 58,25 m

Material Struktur : Beton bertulang

Sistem struktur : Sistem ganda

b. Data umum bangunan setelah dimodifikasi

Nama Gedung : Hotel Holiday Inn-Express
 Lokasi : Jl. Kedungdoro VI 54-58,
 Sawahan Surabaya
 Fungsi : Hotel
 Jumlah Lantai : 15 lantai dan 1 lantai atap (*roof top*)
 Tinggi Gedung : 58,25 m
 Material Struktur : Baja
 Sistem Struktur : Sistem Rangka Bresing Eksentrik

c. Data gambar

Data gambar yang digunakan adalah gambar struktur dan arsitektur (terlampir).

d. Data tanah

Data tanah yang digunakan berupa data tanah boring. Data ini digunakan untuk mengetahui jenis tanah pada lokasi studi dimana nantinya akan menjadi faktor pengaruh gempa terhadap bangunan yang ditinjau. Data pengujian tanah terlampir.

Berdasarkan data tanah yang ada, jenis tanah pada lokasi studi termasuk dalam kelas situs SE (tanah lunak). Sehingga diperoleh hasil desain seismik dengan kategori desain D.

Tabel 3.1. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2012)

Tabel 3.2. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2012)

3.2.1.2 Studi Literatur

Melakukan studi terhadap literatur yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir mengenai perencanaan bangunan struktur baja menggunakan Sistem Ganda. Literatur yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983
2. SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung
3. SNI 1729-20015 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung
4. SNI 2847-2013 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung
5. Buku Perencanaan struktur baja dengan metode LRFD (Agus Setiawan)
6. Jurnal-jurnal yang berkaitan dengan SRBE

3.2.2 Preliminary Design

Melakukan perkiraan dimensi awal dari elemen-elemen struktur, penentuan mutu bahan atau material struktur dan merencanakan dimensi profil yang akan digunakan.

3.2.2.1 Perencanaan Struktur Sekunder

Melakukan perkiraan dimensi awal dari elemen struktur, penentuan mutu bahan atau material struktur dan merencanakan dimensi profil yang akan digunakan yang meliputi:

1. Plat lantai
2. Balok anak
3. Balok lift
4. Tangga

3.2.2.2 Perencanaan Struktur Utama

Melakukan perkiraan dimensi awal dari elemen struktur, penentuan mutu bahan dan material struktur dan merencanakan dimensi profil yang akan digunakan yang meliputi:

1. Perencanaan panjang link

Ketentuan mengenai panjang link (e) adalah sebagai berikut:

Link geser (short links):

$$e \leq \frac{1,6M_p}{V_p} \quad (3.1)$$

Link medium (intermediate links):

$$\frac{1,6M_p}{V_p} \leq e \leq \frac{2,6M_p}{V_p} \quad (3.2)$$

Link lentur (long links):

$$e \geq \frac{2,6M_p}{V_p} \quad (3.3)$$

2. Dimensi balok
3. Dimensi kolom

3.2.3 Perhitungan Beban Struktur

Perhitungan beban terhadap struktur adalah sebagai berikut:

3.2.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap. Beban mati ini terdiri dari berat sendiri bangunan yang diterima oleh struktur gedung. Berdasarkan PPIUG 1983 Bab 2 Tabel 2.1 besarnya beban mati adalah sebagai berikut:

- Baja : 7850 kg/m³
- Beton : 2400 kg/m³
- Dinding pasangan bata ringan : 750 kg/m³
- Plafond : 11 kg/m²
- Penggantung Plafond : 7 kg/m²
- Berat Volume AC dan pemipaan : 25 kg/m²
- Penutup Lantai : 24 kg/m²
- Aspal : 14 kg/m²

3.2.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban yang dapat bergerak atau bersifat sementara. Berdasarkan PPIUG 1983 Bab 3 Pasal 3.2 dan Tabel 3.1 besarnya beban hidup adalah sebagai berikut:

- Beban hidup pada atap : 100 kg/m²
- Beban hidup pada lantai : 250 kg/m²
(fungsi bangunan sebagai hotel)

3.2.3.3 Beban Gempa

Untuk peraturan yang digunakan pada pembebanan gempa adalah SNI 1726-2012. Berikut parameter-parameter yang perlu diperhatikan:

1. Mengklasifikasi Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Klasifikasi berdasarkan Kategori Resiko Bangunan dapat dilihat pada Tabel 1 SNI 1726-2012.

Untuk faktor keutamaan gempa tertulis pada Tabel 2 SNI 1726-2012.

2. Definisi Kelas Situs

Tipe kelas situs ditetapkan sesuai Tabel 3 SNI 1726-2012.

3. Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral

Respons spektral terdiri dari dua parameter yaitu parameter spektral respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan parameter spektral respons percepatan pada periode 1 detik (S_1). Parameter-parameter tersebut disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs yang telah ditentukan dalam perumusan:

$$S_{MS} = F_a S_s \text{ (Pasal 6.2 SNI 1726-2012)} \quad (3.4)$$

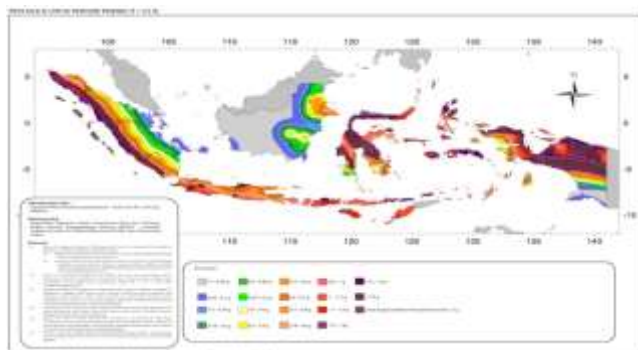
$$S_{M1} = F_v S_1 \text{ (Pasal 6.2 SNI 1726-2012)} \quad (3.5)$$

Dimana:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik

F_a dan F_v adalah koefisien situs yang telah ditetapkan pada Tabel 4 dan 5 SNI 1726-2012



Gambar 3.2. SS, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCE_R), Kelas Situs SB
(Sumber: SNI 1726-2012)



Gambar 3.3. S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tersesuaikan (MCER), Kelas Situs SB
(Sumber: SNI 1726-2012)

1. Parameter Percepatan Spektral Desain

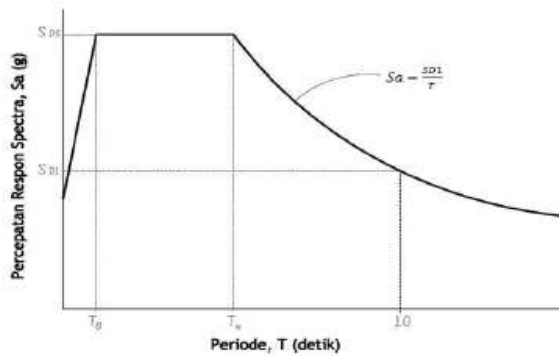
Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (\text{Pasal 6.2 SNI 1726-2012}) \quad (3.6)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (\text{Pasal 6.2 SNI 1726-2012}) \quad (3.7)$$

2. Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada ketentuan di bawah ini:



Gambar 3.4. Spektrum Respon Desain
(Sumber: SNI 1726-2012)

Berdasarkan Pasal 6.4 SNI 1726-2012

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.9)$$

Untuk $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.10)$$

Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS} \quad (3.11)$$

Untuk $T > T_s$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.12)$$

Dimana:

T = Periode getar fundamental struktur

S_a = Respons percepatan desain

3. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik dievaluasi berdasarkan Tabel 6 SNI 1726-2012 untuk nilai S_{DS} dan Tabel 7 untuk nilai S_{D1} kemudian diambil yang paling berat dari kedua tabel tersebut.

3.2.3.4 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726-2012 kombinasi pembebanan harus dirancang sebagai berikut:

1. Kombinasi beban untuk metoda limit
(Pasal 4.2 Ayat 4.2.2 SNI 1726-2012)
2. Kombinasi beban untuk tegangan ijin
(Pasal 4.2 Ayat 4.2.2 SNI 1726-2012)

3.2.4 Permodelan dan Analisa Struktur

Melakukan permodelan struktur menggunakan program bantu SAP 2000 yang direncanakan sebagai struktur ruang 3 dimensi dengan input beban-beban di atas dan menghasilkan output gaya-gaya dalam yang digunakan untuk kontrol perhitungan elemen struktur.

3.2.5 Kontrol Perencanaan Struktur Utama

Melakukan kontrol kemampuan struktur utama dari perencanaan yang sudah dilakukan.

3.2.5.1 Kontrol Desain

Analisa struktur terhadap beban gempa dikontrol berdasarkan SNI 1726-2012.

1. Kontrol partisipasi massa
Perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus sekurang-kurangnya 90%.
2. Kontrol nilai akhir respon spektrum
Perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus sekurang-kurangnya 90%.
3. Kontrol waktu getar alami fundamental
Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental

(T) dari struktur gedung harus dibatasi dengan perumusan:

$$T = C_t \cdot h_n^x \quad (3.13)$$

Dimana nilai parameter untuk SRBE adalah:

$$C_t = 0,0731$$

$$X = 0,75$$

$$h_n = \text{Tinggi gedung}$$

4. Kontrol kinerja struktur gedung

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.9.3

3.2.5.2 Kontrol Perhitungan Elemen Struktur Primer

Desain elemen struktur primer dikontrol berdasarkan SNI 1729-2015 agar dapat memikul gaya-gaya yang terjadi. Perencanaan elemen struktur primer meliputi:

1. Kolom

Kolom komposit CFT menerima kombinasi normal dan lentur.

a. Kriteria untuk kolom komposit bagi struktur tekan

- Kontrol luas penampang minimum profil baja

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} \times 100\% \geq 4\% \quad (3.14)$$

- Kontrol tebal minimum penampang baja berongga yang diisi beton

$$t \geq b \sqrt{\frac{f_y}{3E}} \quad (3.15)$$

b. Kuat nominal tekan kolom komposit CFT

Batasan rasio lebar terhadap ketebalan untuk elemen baja tekan harus ditentukan sebagai berikut:

Untuk profil HSS yang diisi dengan beton dengan ketebalan profil baja sama di semua sisi. (SNI 1729-2015 Pasal I1.4)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (3.16)$$

$$\lambda_p = 2.26 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (kompak)} \quad (3.17)$$

$$\lambda_r = 3.00 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (tak kompak)} \quad (3.18)$$

$$5.00 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (maksimum yang diijinkan)} \quad (3.19)$$

Untuk komponen struktur komposit yang terisi beton (SNI 1729-2015 Pasal I2.2)

- Untuk penampang kompak

$$P_{no} = P_p \quad (3.20)$$

Dengan,

$$P_p = f_y A_s + C_2 f_c' \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (3.21)$$

- Untuk penampang nonkompak

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2 \quad (3.22)$$

Dengan,

$$P_y = f_y A_s + 0.7 f_c' \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (3.23)$$

- Untuk penampang langsing

$$P_{no} = f_{cr} A_s + 0.7 f_c' \left(A_c + A_r \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (3.24)$$

Penampang persegi diisi beton,

$$f_{cr} = \frac{9E_s}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (3.25)$$

c. Amplifikasi momen (SNI 1729-2015 Lampiran 8.2)

Kekuatan lentur yang diperlukan, M_r , dan kekuatan aksial, P_r , dari semua komponen struktur harus ditentukan sebagai berikut:

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (3.26)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad (3.27)$$

- Pengali B_1 untuk Efek $P-\delta$ (SNI 1729-2015 Lampiran 8.2.1)

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{e1}}} \geq 1 \quad (3.28)$$

Dengan,

$$\alpha = 1.00 \text{ (DFBK)}$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (3.29)$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI^*}{(K_1 L)^2} \quad (3.30)$$

- Pengali B_2 untuk Efek $P-\Delta$ (SNI 1729-2015 Lampiran 8.2.2)

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{e_story}}} \quad (3.31)$$

Dengan,

$$\alpha = 1.00 \text{ (DFBK)}$$

$$P_{e_story} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \quad (3.32)$$

d. Momen nominal

Momen nominal pada kolom diperhitungkan sama dengan balok dengan dua arah sumbu penampang yaitu x dan y.

$$M_u \leq \phi M_n \quad (3.33)$$

Dimana:

Mn = momen nominal

Mu = momen ultimate

Untuk profil HSS yang diisi dengan beton dengan ketebalan profil baja sama di semua sisi. (SNI 1729-2015 Pasal B4.1)

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (3.34)$$

$$\lambda_p = 1.12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (kompak)} \quad (3.35)$$

$$\lambda_r = 1.40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ (tak kompak)} \quad (3.36)$$

Untuk komponen struktur berpenampang kotak/persegi (SNI 1729-2015 Pasal F7)

- Untuk penampang kompak

$$M_n = M_p = f_y Z \quad (3.37)$$

- Untuk penampang nonkompak

$$M_n = M_p - (M_p - f_y S) \left(3.57 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{f_y}{E}} - 4.0 \right) \leq M_p \quad (3.35)$$

- Untuk penampang langsing

$$M_n = f_y S_e \quad (3.38)$$

$$b_e = 1.92 t_f \sqrt{\frac{E}{f_y}} \left(1 - \frac{0.38}{b/t_f} \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right) \leq b \quad (3.39)$$

- e. Persamaan interaksi aksial momen

Interaksi beban aksial tekan dan lentur pada bidang simstris komponen struktur komposit ditentukan berdasarkan:

- Untuk $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (3.40)$$

- Untuk $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (3.41)$$

2. Balok (SNI 1729-2015 Pasal F1)

Pada elemen balok gaya yang bekerja adalah gaya lentur dan gaya geser. Kapasitas lentur dan gaya geser harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\phi_b M_n > M_u \quad (3.42)$$

$$\phi_v V_n > V_u \quad (3.43)$$

Dengan ϕ_b adalah faktor reduksi lentur dan ϕ_v adalah faktor reduksi geser yang nilainya sebesar 0,9.

Pada perencanaan elemen balok harus dilakukan pengecekan terhadap hal-hal sebagai berikut:

- a. Cek terhadap kelangsingan penampang (SNI 1729-2015 Tabel B4.1b)

Sayap (*flange*):

- Penampang kompak

$$\lambda \leq \lambda_p \quad (3.44)$$

- Penampang tidak kompak

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r \quad (3.45)$$

Badan (*web*):

- Penampang kompak

$$\lambda \leq \lambda_p \quad (3.46)$$

- Penampang tidak kompak

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r \quad (3.47)$$

- b. Cek terhadap kapasitas lentur penampang

- Penampang kompak

$$M_n = R_{pg} \cdot F_{cr} \cdot S_{xc} \quad (3.48)$$

- Penampang tidak kompak

$$F_{cr} = \left[F_y - (0.3 F_y) \left(\frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (3.49)$$

- Untuk Penampang langsing

$$F_{cr} = \frac{0.9 E k_c}{\left(\frac{b_f}{2 t_f} \right)^2} \quad (3.50)$$

Secara umum harus dipenuhi persamaan:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (3.51)$$

Dimana:

M_n = momen nominal

M_u = momen ultimate

- c. Cek terhadap tekuk torsi lateral (SNI 1729-2015 Pasal F2.2)

- Bentang pendek

Syarat bentang pendek: $L_b < L_p$

- Bentang menengah

Syarat bentang menengah: $L_p \leq L_b \leq L_r$

- Bentang panjang
Syarat bentang panjang: $L_b > L_r$

d. Cek nominal geser (SNI 1729-2015 Pasal G2)

Kuat geser balok tergantung perbandingan antara tinggi bersih pelat badan (h) dengan tebal pelat badan (t_w)

- Pelat badan leleh (Plastis)

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot C_v \quad (3.52)$$

$$V_u \leq \phi V_n \rightarrow \phi = 0,9 \quad (3.53)$$

e. Kontrol kuat Tarik (SNI 1729-2015 Pasal D5)

- Keruntuhan Tarik dan Geser

$$P_n = F_u(2t_b e) \quad (3.54)$$

$$P_n \leq 0,6 F_u A_{sf} \quad (3.55)$$

3. Link

a. Kuat Elemen *Link Beam*

Kekuatan (geser dan lentur) batas pada elemen link ditentukan dengan persamaan berikut:

$$M_p = Z_x \cdot f_y \quad (3.56)$$

$$V_p = 0,6 f_y (h - 2t_f) t_w \quad (3.57)$$

b. Sudut Rotasi *Link Beam*

Sudut rotasi link beam seharusnya tidak melebihi nilai berikut:

- 0,08 radian untuk panjang *link* $e \leq 1,6M_p/V_p$
- 0,02 radian untuk panjang *link* $e \geq 2,6M_p/V_p$
- Interpolasi linier antara 0,08-0,02 radian jika panjang *link* $1,6M_p/V_p \leq e \leq 2,6M_p/V_p$

3.2.5.3 Perencanaan Sambungan

1. Sambungan baut (SNI 1729-2015 pasal J3.6)

- a. Kuat geser:

$$R_n = F_n A_b \quad (3.58)$$

b. Kuat tumpu:

$$R_n = F_{nt} A_b \quad (3.59)$$

Dari nilai diatas dipilih nilai terkecil dan dapat ditentukan jumlah baut.

Jumlah baut (n):

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} \quad (3.60)$$

c. Kontrol jarak baut

Jarak tepi minimum = 1,5 db

Jarak tepi maksimum = (4tp + 100 mm) atau 200 mm

Jarak minimum antar baut = 3 db

Jarak maksimum antar baut = 15 tp atau 200 mm

2. Sambungan Las (SNI 1729-2015 pasal J2.3.4)

$$R_u \leq \phi R_n \quad (3.61)$$

Tahanan terhadap Bahan Dasar Las

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (3.62)$$

Tahanan terhadap Bahan Dasar Baja

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (3.63)$$

3.2.6 Perhitungan Struktur Bawah

Pondasi umumnya berlaku sebagai elemen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Dalam perencanaan pondasi digunakan pondasi *bore pile* dengan data tanah untuk perencanaan daya dukung yang didapat dari hasil SPT (Standart Penetration Test). Hasil daya dukung yang menentukan yang dipakai sebagai daya dukung ijin tiang. Perhitungan daya dukung dapat ditinjau dari dua keadaan, yaitu:

a. Daya dukung tiang tunggal yang berdiri sendiri

b. Daya dukung tiang dalam kelompok

3.2.7 Kontrol Tebal Minimum Poer

Menurut SNI 2847-2013 tebal pondasi tapak diatas tulangan bawah tidak boleh kurang dari 150 mm untuk pondasi diatas tanah, atau kurang dari 300 mm untuk pondasi tapak (*footing*) diatas tiang pondasi.

3.2.7.1 Perencanaan *Bore Pile*

Perencanaan struktur tiang pondasi menggunakan pondasi *bore pile*. Data tanah yang digunakan berdasarkan hasil dari SPT.

a. Dimensi penampang tiang bor

Penentuan diameter tiang (D_s)

$$A = \frac{Q_w}{f'_c} = \frac{Q_w}{0,25f'_c} \quad (3.64)$$

$$\frac{1}{4}\pi D_s^2 = \frac{Q_w}{0,25f'_c} \rightarrow D_s = 2,257 \sqrt{\frac{Q_w}{f'_c}} \quad (3.65)$$

Dimana :

- A = luas penampang tiang bor
- Q_w = beban yang bekerja diatas tiang
- f'_c = jarak horizontal antar tulangan miring
- D_s = diameter tiang bor

b. Daya dukung tiang

Menurut Luciano Decourt (1996) untuk menghitung daya dukung sebuah tiang dapat menggunakan persamaan di bawah ini :

$$QL = QP + QS \quad (3.66)$$

Dimana :

- QL = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi
- QP = Resistance ultimate di dasar pondasi
- QS = Resistance ultimate akibat lekatan lateral

- Daya dukung di ujung tiang (Q_p)

$$Q_p = q_p \cdot A_p = \alpha \cdot N_p \cdot K \cdot A_p \quad (3.67)$$

Dimana :

N_p = Harga rata-rata SPT di sekitar 4B di atas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi (B = diameter pondasi)

K = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi

12 t/m² = 117,7 kPa, untuk lempung (clay)

20 t/m² = 196 kPa, untuk lempung berlanau (silty clay)

25 t/m² = 245 kPa, untuk pasir berlanau (silty sand)

40 t/m² = 392 kPa, untuk pasir (sand)

- Daya dukung pada selimut tiang

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s \quad (3.68)$$

Dimana:

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral dalam t/m²

N_s = Harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam, dengan batasan: $3 \leq N \leq 50$, khusus untuk aspek friction.

A_s = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut)

Koefisien α dan β adalah merupakan berturut-turut base coefficient dan shaft coefficient menurut Decourt et all (1996) yang nilainya seperti Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3. 3 *Base coefficient α Decourt et all (1996)*

Soil / Pile	Driven pile	Bored pile	Bored pile (bentonite)	Continuous hollow auger	Root pile	Injected pile (high pressure)
Clay	1.0	0.85	0.85	0.30	0.85	1.0
Intermediate Soils	1.0	0.60	0.60	0.30	0.60	1.0
Sands	1.0	0.50	0.50	0.30	0.50	1.0

Tabel 3. 4 *Shaft coefficient β Decourt et all (1996)*

Soil / Pile	Driven pile	Bored pile	Bored pile (bentonite)	Continuous hollow auger	Root pile	Injected pile (high pressure)
Clay	1.0	0.80	0.90	1.0	1.5	3.0
Intermediate Soils	1.0	0.65	0.75	1.0	1.5	3.0
Sands	1.0	0.50	0.60	1.0	1.5	3.0

Sumber : Wahyudi, Herman, 2013

Tabel 3. 5 Korelasi Nilai K_s

Soil	K_s (kN/m ³)	K_s (t/m ³)
Sandy Soil		
Loose sand	4800 - 16000	480 - 1600
Medium dense sand	9600 - 80000	960 - 8000
Dense Sand	32000 - 128000	6400 - 12800
Clayey medium dense sand	32000 - 80000	3200 - 8000
Silty medium dense sand	24000 - 48000	2400 - 4800
Clayey Soil		
$q_s < 200$ kPa	12000 - 24000	1200 - 2400
$200 < q_s < 800$ kPa	24000 - 48000	2400 - 4800
$q_s > 800$ kPa	> 48000	> 4800

3.2.7.2 Perencanaan Poer

- a. Kontrol geser pons pada pile cap akibat beban kolom

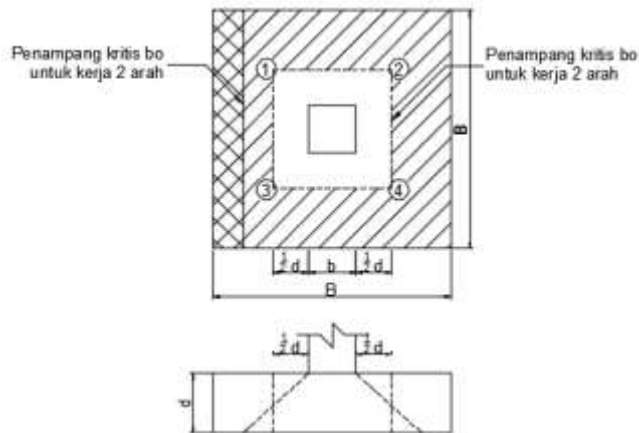
Kekuatan geser pondasi di sekitar kolom atau dinding yang dipikulnya harus ditentukan menurut mana yang lebih menentukan dari 2 (dua) kondisi tinjauan, baik sebagai kerja balok lebar satu arah maupun sebagai kerja dua arah.

Dengan kerja balok lebar, pondasi dianggap sebagai balok lebar dengan penampang kritis pada lebar sepenuhnya. Biasanya kondisi ini jarang menentukan dalam desain. Kerja dua arah pada pondasi dimaksudkan untuk memeriksa kekuatan geser pons.

Penampang kritis untuk geser pons ini terletak pada sepanjang lintasan yang terletak sejauh $\frac{1}{2} d$ dari muka kolom yang dipikul pondasi. Gambar 2.10 menjelaskan cara menentukan penampang kritis, baik pada asumsi kerja lebar balok maupun dua arah.

- Kontrol geser

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3.69)$$



Gambar 3. 5 Kontrol Geser Pons Pada Poer Akibat Beban Kolom

3.2.7.3 Perencanaan penulangan lentur

Perencanaan tulangan lentur berdasarkan momen ultimate yang terjadi akibat tiang pancang terhadap muka kolom dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \quad (3.70)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot s \quad (3.71)$$

3.2.8 Penggambaran Output Desain

Menggambar hasil modifikasi perencanaan struktur menggunakan program Autocad.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

4.1 Perencanaan Dimensi Pelat Lantai Gedung

Perencanaan pelat lantai pada gedung ini menggunakan bantuan tabel perencanaan praktis dari SUPER FLOOR DECK. Spesifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Beban mati (berat sendiri bondek dan pelat beton) sudah diperhitungkan
- Berat berguna yang digunakan adalah jumlah beban hidup dan beban-beban finishing lainnya
- Beton menggunakan mutu $f'c = 25$ MPa
- Bondex menggunakan tebal 0,75 mm

4.1.1 Pelat Lantai Top Atap

Peraturan pembebanan pada struktur pelat lantai top atap ini menggunakan PPIUG 1983 dan SNI 1727:2013.

Beban Mati :

- Berat spesi $t=2$ cm $(2 \times 21) = 42 \text{ kg/m}^2$
- Berat plafon + penggantung $(11 + 7) = 18 \text{ kg/m}^2$
- Berat ducting dan plumbing $= 19,53 \text{ kg/m}^2 +$
- $q_D = 79,53 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup :

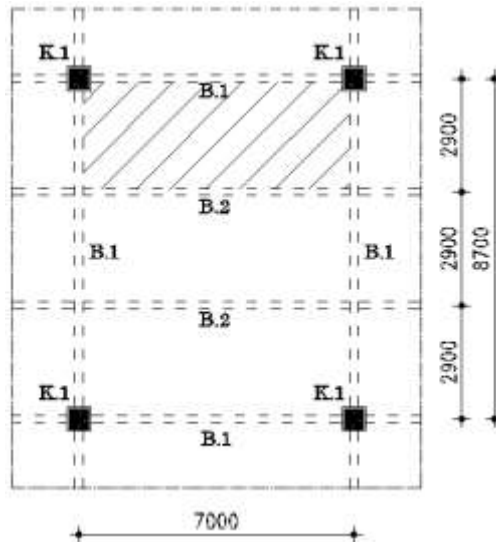
- Lantai atap $q_L = 20 \text{ Psf} = 97,64 \text{ kg/m}^2$

Beban Berguna :

- $q_T = q_D + q_L = 79,53 + 97,64 = 177,17 \text{ kg/m}^2 \approx 200 \text{ kg/m}^2$

Data-data perencanaan pelat bondek:

- Bentang $= 2,9 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$
- Beban berguna $= 200 \text{ kg/m}^2$



Gambar 4. 1 Pelat Lantai Top Atap

Berdasarkan tabel perencanaan praktis untuk bentang menerus dengan tulangan negatif, maka didapatkan tebal pelat 9 cm, luas tulangan negatif $2,51 \text{ cm}^2/\text{m}$, dan tidak dibutuhkan penyangga.

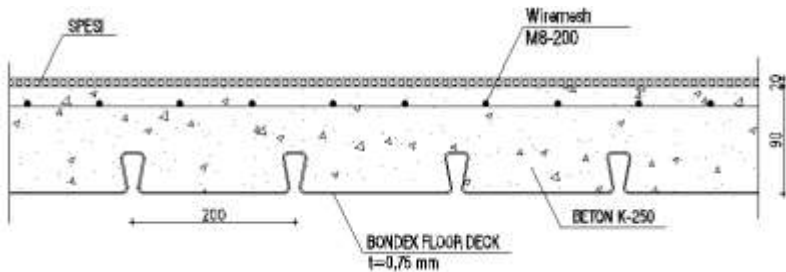
Tulangan yang digunakan dapat dilihat pada tabel luas penampang kawat dan didapatkan luas tulangan negatif sebesar $2,51 \text{ cm}^2/\text{m}$, maka digunakan wiremesh M8-200.

Dengan syarat jarak tulangan sebagai berikut:

- a. $S < 3h_f$ (SNI 2847:2013, Pasal 7.6.5)
 $< 3 \cdot 90 \text{ mm}$
 $< 270 \text{ mm}$
- b. $S < 450 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013, Pasal 7.6.5)

Keterangan: h_f = tebal pelat

Maka jarak tulangan wiremesh yang digunakan memenuhi persyaratan.



Gambar 4. 2 Penulangan Pelat Lantai Top Atap

4.1.2 Pelat Lantai Atap

Peraturan pembebanan pada struktur pelat lantai atap ini menggunakan PPIUG 1983 dan SNI 1727:2013.

Beban Mati :

- Berat spesi $t=2$ cm $(2 \times 21) = 42 \text{ kg/m}^2$
- Berat keramik $t=2$ cm $(2 \times 24) = 48 \text{ kg/m}^2$
- Berat plafon + penggantung $(11 + 7) = 18 \text{ kg/m}^2$
- Berat ducting dan plumbing $= 19,53 \text{ kg/m}^2 +$
- $q_D = 127,53 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup :

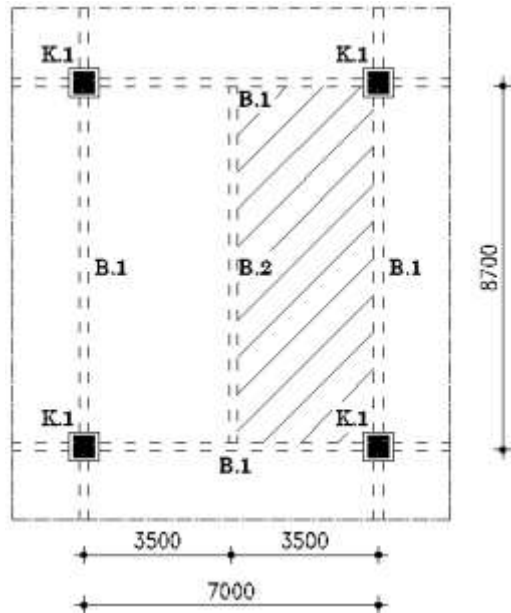
- Lantai atap $q_L = 20 \text{ Psf} = 97,64 \text{ kg/m}^2$

Beban Berguna :

- $q_T = q_D + q_L = 127,53 + 97,64 = 225,17 \text{ kg/m}^2 \approx 300 \text{ kg/m}^2$

Data-data perencanaan pelat bondek:

- Bentang $= 3,5 \text{ m}$
- Beban berguna $= 300 \text{ kg/m}^2$



Gambar 4. 3 Pelat Lantai Atap

Berdasarkan tabel perencanaan praktis untuk bentang menerus dengan tulangan negatif, maka didapatkan tebal pelat 11 cm, luas tulangan negatif $3,49 \text{ cm}^2/\text{m}$, dan dibutuhkan satu baris penyangga.

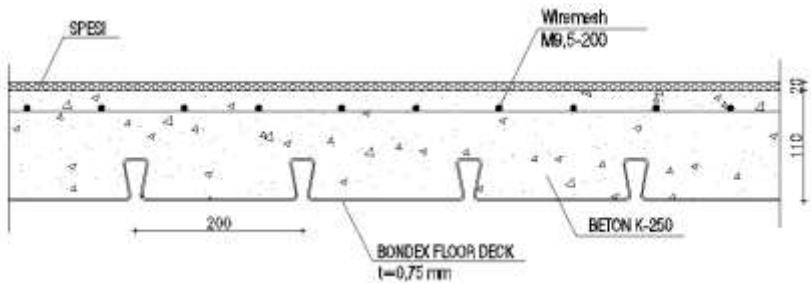
Tulangan yang digunakan dapat dilihat pada tabel luas penampang kawat dan didapatkan luas tulangan negatif sebesar $3,54 \text{ cm}^2/\text{m}$, maka digunakan wiremesh M9,5-200.

Dengan syarat jarak tulangan sebagai berikut:

- a. $S < 3h_f$ (SNI 2847:2013, Pasal 7.6.5)
 - $< 3 \cdot 110 \text{ mm}$
 - $< 330 \text{ mm}$
- b. $S < 450 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013, Pasal 7.6.5)

Keterangan: h_f = tebal pelat

Maka jarak tulangan wiremesh yang digunakan memenuhi persyaratan.



Gambar 4. 4 Penulangan Pelat Lantai Atas

4.1.3 Pelat Lantai 2 -14

Pada lantai 2-14 bangunan berfungsi sebagai perhotelan. Peraturan pembebanan pada struktur pelat lantai 2-14 ini menggunakan PPIUG 1983 dan SNI 1727:2013.

Beban Mati :

- Berat spesi $t=2$ cm $(2 \times 21) = 42 \text{ kg/m}^2$
- Berat keramik $t=2$ cm $(2 \times 24) = 48 \text{ kg/m}^2$
- Berat plafon + penggantung $(11 + 7) = 18 \text{ kg/m}^2$
- Berat ducting dan plumbing $= 19,53 \text{ kg/m}^2 +$
- $q_D = 127,53 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup :

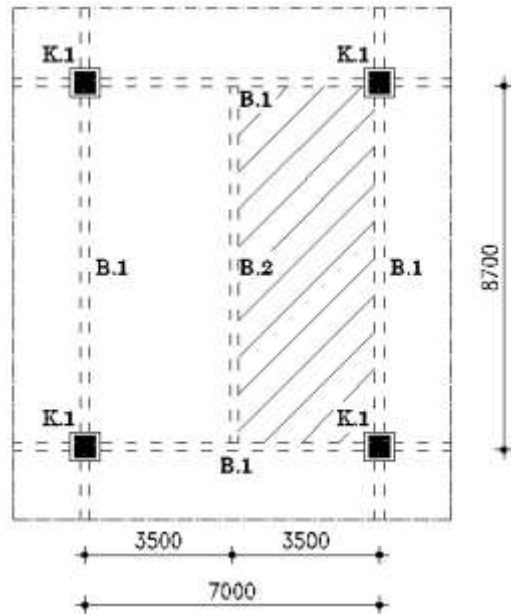
- Lantai perhotelan $q_L = 40 \text{ Psf} = 195,28 \text{ kg/m}^2$

Beban Berguna :

- $q_T = q_D + q_L = 127,53 + 195,28 = 322,81 \text{ kg/m}^2 \approx 400 \text{ kg/m}^2$

Data-data perencanaan pelat bondek:

- Bentang $= 3,5 \text{ m}$
- Beban berguna $= 400 \text{ kg/m}^2$



Gambar 4. 5 Pelat Lantai 2-14

Berdasarkan tabel perencanaan praktis untuk bentang menerus dengan tulangan negatif, maka didapatkan tebal pelat 11 cm, luas tulangan negatif 4,09 cm²/m, dan dibutuhkan satu baris penyangga.

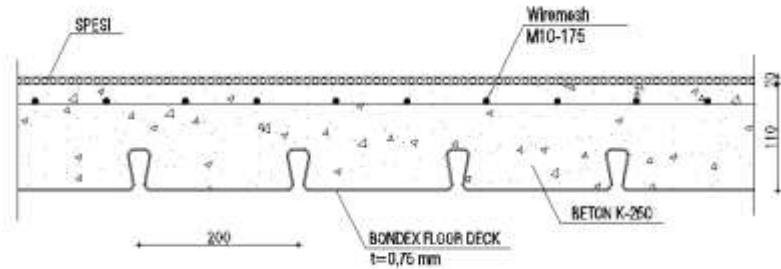
Tulangan yang digunakan dapat dilihat pada tabel luas penampang kawat dan didapatkan luas tulangan negatif sebesar 4,49 cm²/m, maka digunakan wiremesh M10-175.

Dengan syarat jarak tulangan sebagai berikut:

- a. $S < 3h_f$ (SNI 2847:2013, Pasal 7.6.5)
 - $< 3 \cdot 110 \text{ mm}$
 - $< 330 \text{ mm}$
- b. $S < 450 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013, Pasal 7.6.5)

Keterangan: h_f = tebal pelat

Maka jarak tulangan wiremesh yang digunakan memenuhi persyaratan.



Gambar 4. 6 Penulangan Pelat Lantai 2-14

4.1.4 Pelat Lantai 1

Pada lantai 1 bangunan berfungsi sebagai koridor atau lobi. Peraturan pembebanan pada struktur pelat lantai atap ini menggunakan PPIUG 1983 dan SNI 1727:2013.

Beban Mati :

- Berat spesi $t=2$ cm $(2 \times 21) = 42 \text{ kg/m}^2$
- Berat keramik $t=2$ cm $(2 \times 24) = 48 \text{ kg/m}^2$
- Berat plafon + penggantung $(11 + 7) = 18 \text{ kg/m}^2$
- Berat ducting dan plumbing $= 19,53 \text{ kg/m}^2 +$
 $q_D = 127,53 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup :

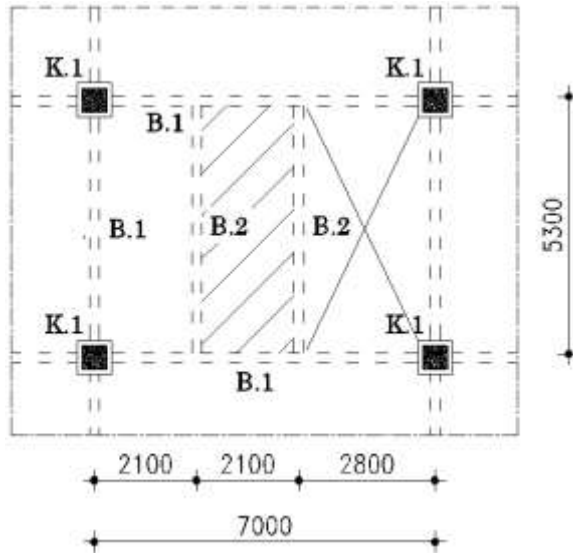
- Lantai koridor $q_L = 100 \text{ Psf} = 487,18 \text{ kg/m}^2$

Beban Berguna :

- $q_T = q_D + q_L = 127,53 + 487,18 = 614,71 \text{ kg/m}^2 \approx 700 \text{ kg/m}^2$

Data-data perencanaan pelat bondek

- Bentang $= 2,1 \text{ m} \approx 2,25 \text{ m}$
- Beban berguna $= 700 \text{ kg/m}^2$



Gambar 4. 7 Pelat Lantai 1

Berdasarkan tabel perencanaan praktis untuk bentang menerus dengan tulangan negatif, maka didapatkan tebal pelat 9 cm, luas tulangan negatif $3,08 \text{ cm}^2/\text{m}$, dan tidak dibutuhkan penyangga.

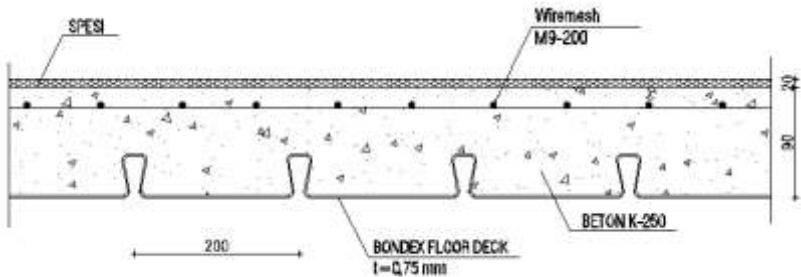
Tulangan yang digunakan dapat dilihat pada tabel luas penampang kawat dan didapatkan luas tulangan negatif sebesar $3,18 \text{ cm}^2/\text{m}$, maka digunakan wiremesh M9-200.

Dengan syarat jarak tulangan sebagai berikut:

- a. $S < 3h_f$ (SNI 2847:2013, Pasal 7.6.5)
 $< 3 \cdot 90 \text{ mm}$
 $< 270 \text{ mm}$
- b. $S < 450 \text{ mm}$ (SNI 2847:2013, Pasal 7.6.5)

Keterangan: h_f = tebal pelat

Maka jarak tulangan wiremesh yang digunakan memenuhi persyaratan.



Gambar 4. 8 Penulangan Pelat Lantai 1

4.2 Perencanaan Balok Anak

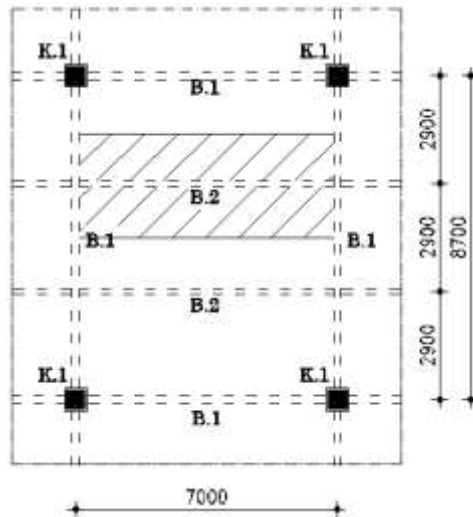
Fungsi dari balok anak adalah meneruskan serta membagi beban yang dipikul pelat lantai ke balok induk. Balok anak didesain sebagai struktur sekunder sehingga dalam perhitungan tidak menerima beban lateral yang diakibatkan oleh gempa.

4.2.1 Balok Anak Lantai Top Atap

Digunakan balok profil WF 350 x 175 x 6 x 9 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 52,68 \text{ kg/m} & Z_x &= 689,118 \text{ cm}^3 & r &= 14 \text{ mm} \\
 A &= 41,4 \text{ cm}^2 & Z_y &= 139,194 \text{ cm}^3 & S_x &= 641 \text{ cm}^3 \\
 t_w &= 6 \text{ mm} & i_x &= 14,5 \text{ cm} & S_y &= 91 \text{ cm}^3 \\
 t_f &= 9 \text{ mm} & i_y &= 3,88 \text{ cm} \\
 d &= 346 \text{ mm} & I_x &= 11100 \text{ cm}^4 \\
 b_f &= 174 \text{ mm} & I_y &= 792 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 346 - (2 \times (9 + 14)) = 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm} \\
 h_o &= 346 - 9 = 337 \text{ mm} = 33,7 \text{ cm} \\
 J &= \left(\frac{1}{3} \times 300 \times 6^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 174 \times 9^3 \right) \\
 &= 106164 \text{ mm}^4 = 10,616 \text{ cm}^4 \\
 \text{Diketahui: } E &= 200000 \text{ MPa} & &= 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\
 \text{BJ 41: } F_y &= 250 \text{ MPa} & &= 2500 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$F_u = 410 \text{ MPa}$	$= 4100 \text{ kg/cm}^2$
Tebal pelat bondek	$= 9 \text{ cm}$
Lebar pelat bondek	$= 2,9 \text{ m}$
Panjang balok anak	$= 7 \text{ m}$
Beban mati lantai top atap	$= 79,53 \text{ kg/m}^2$
Beban hidup lantai top atap	$= 97,64 \text{ kg/m}^2$
Berat pelat bondek	$= 10,1 \text{ kg/m}^2$



Gambar 4. 9 Balok Anak Lantai Top Atap yang Ditinjau

a. Pembebanan pada balok anak lantai top atap

• Beban mati

- Berat sendiri balok	$= 41,4 \text{ kg/m'}$
- Beban mati pelat $= 79,53 \times 2,9$	$= 230,631 \text{ kg/m'}$
- Berat beton $0,09 \times 2400 \times 2,9$	$= 626,4 \text{ kg/m'}$
- Berat spesi $t=2\text{cm} = 42 \times 2,9$	$= 121,8 \text{ kg/m'}$
- Berat pelat bondek $= 10,1 \times 2,9$	$= 29,29 \text{ kg/m'}$
q_D	$= 1049,521 \text{ kg/m'}$
	$= 10,495 \text{ kg/cm'}$

- Beban hidup

$$\begin{aligned} \text{- Lantai atap} = q_L &= 97,64 \times 2,9 = 283,155 \text{ kg/m} \\ &= 2,832 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

- Beban terfaktor

$$\begin{aligned} q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2 (1049,521) + 1,6 (283,155) \\ &= 1712,47 \text{ kg/m} \\ &= 17,125 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

b. Gaya dalam pada balok anak lantai top atap

- Momen

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 1712,47 \cdot (7)^2 \\ &= 10488,899 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Geser

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1712,47 \cdot 7 \\ &= 1498,414 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned} \delta_{ijin} &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{700}{360} \\ &= 1,944 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\delta_x = \frac{5}{384} \times \frac{q D L^4}{E I_x}$$

$$= \frac{5}{384} x \frac{10,495 \cdot (700)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 11100}$$

$$= 1,478 \text{ cm}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\delta x = \frac{5}{384} x \frac{q L L^4}{E \cdot I_x}$$

$$= \frac{5}{384} x \frac{2,832 \cdot (700)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 11100}$$

$$= 0,399 \text{ cm}$$

• Syarat lendutan

$$\delta < \delta_{ijin}$$

$$\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} < 1,944 \text{ cm}$$

$$\sqrt{(1,478 + 0,399)^2 + 0^2} < 1,944 \text{ cm}$$

$$1,25 \text{ cm} < 1,944 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}$$

d. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

• Badan tanpa pengaku transversal

$$\frac{h}{tw} < 260$$

$$\frac{300}{6} < 260$$

$$50 < 260 \quad \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{F_y}}$$

$$\frac{300}{6} < 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot (2 \times 10^5)}{250}}$$

$$50 < 69,57 \quad \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

• Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (346 \times 6) \cdot 1 \\ &= 311400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$= 31140 \text{ kg}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 1498,414 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 31140 \text{ kg} \\ 1498,414 \text{ kg} &< 28026 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (Flange)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{174}{2 \times 9} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 9,667 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (Web)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{300}{6} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 50 &< 106,35 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 689,118 \cdot 2500 \\ &= 1722795 \text{ kg.cm} \\ &= 17227,95 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 10488,899 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 17227,95 \text{ kg.m} \\ 10488,899 \text{ kg.m} &< 15505,155 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- f. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$L_b = 700 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,76 \times 3,88 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\ &= 193,148 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_b &< L_p \\ 700 \text{ cm} &> 193,148 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dikarenakan $L_p < L_b < L_r$, maka

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot F_y \cdot S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} r_{ts} &= \frac{b_f}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{h \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} \right)}} \\ &= \frac{346}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{300,6}{174,9} \right)}} \\ &= 91,5 \text{ mm} = 9,15 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E} \right)^2}} \\ &= 1,95 \times 9,15 \times \frac{2 \times 10^6}{0,7 \cdot 2500} \times \sqrt{\frac{10,616,1}{641,33,7} + \sqrt{\left(\frac{10,616,1}{641,33,7} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 2500}{2 \times 10^6} \right)^2}} \\ &= 1082,667 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 1712,47 \cdot (7)^2 \\ &= 10488,899 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\ &= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot 1712,47 \cdot (7)^2 \\ &= 7866,674 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{1}{2}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_B &= M_{\max} \\ &= 10488,899 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_C &= M_A \\ &= 7866,674 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \\ &= \frac{12,5 \cdot 10488,899}{2,5 \cdot 10488,899 + 3 \cdot 7866,674 + 4 \cdot 10488,899 + 3 \cdot 7866,674} \\ &= 1,136 \end{aligned}$$

- Momen lentur plastis

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot F_y \\ &= 689,118 \cdot 2500 \\ &= 1722795 \text{ kg.cm} \\ &= 17227,95 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\ &= 1,136 \left[1722795 - (1722795 - 0,7 \cdot 2500 \cdot 641) \cdot \left(\frac{700 - 193,1}{1082,667 - 193,1} \right) \right] \\ &= 1568541,864 \text{ kg.cm} \\ &= 15685,419 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 10488,899 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 15685,419 \text{ kg.m} \\ 10488,899 \text{ kg.m} &< 14116,877 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4.2.2 Balok Anak Lantai Atap

Digunakan balok profil WF 450 x 200 x 9 x 14 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 76 \text{ kg/m} & Z_x &= 1621,489 \text{ cm}^3 & r &= 18 \text{ mm} \\
 A &= 96,76 \text{ cm}^2 & Z_y &= 288,545 \text{ cm}^3 & S_x &= 1490 \text{ cm}^3 \\
 tw &= 9 \text{ mm} & ix &= 18,6 \text{ cm} & S_y &= 187 \text{ cm}^3 \\
 tf &= 14 \text{ mm} & iy &= 4,4 \text{ cm} \\
 d &= 450 \text{ mm} & I_x &= 33500 \text{ cm}^4 \\
 bf &= 200 \text{ mm} & I_y &= 1870 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 450 - (2 \times (14 + 18)) = 386 \text{ mm} \\
 h_o &= 450 - 14 = 436 \text{ mm} = 43,6 \text{ cm} \\
 J &= \left(\frac{1}{3} \times 386 \times 9^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 200 \times 14^3 \right) \\
 &= 459664,7 \text{ mm}^4 = 45,966 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\text{Diketahui: } E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

BJ 41:

$$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tebal pelat bondek} = 11 \text{ cm}$$

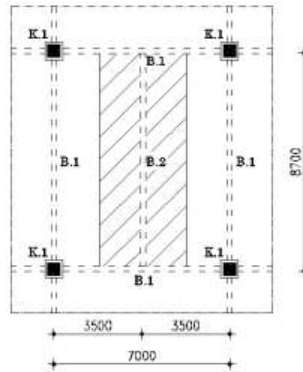
$$\text{Lebar pelat bondek} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Panjang balok anak} = 8,7 \text{ m}$$

$$\text{Beban mati lantai atap} = 127,53 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup lantai atap} = 97,64 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat pelat bondek} = 10,1 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 4. 10 Balok Anak Lantai Atap yang Ditinjau

a. Pembebanan pada balok anak lantai atap

• Beban mati

- Berat sendiri balok $= 76 \text{ kg/m'}$
 - Beban mati pelat $= 127,53 \times 3,5 = 446,348 \text{ kg/m'}$
 - Berat beton
 $0,11 \times 2400 \times 3,5 = 924 \text{ kg/m'}$
 - Berat spesi $t=2\text{cm} = 42 \times 3,5 = 147 \text{ kg/m'}$
 - Berat keramik $t=2\text{cm} = 48 \times 3,5 = 168 \text{ kg/m'}$
 - Berat pelat bondek $= 10,1 \times 3,5 = 35,35 \text{ kg/m'}$
- $$q_D = 1796,698 \text{ kg/m'}$$
- $$= 17,967 \text{ kg/cm'}$$

• Beban hidup

- Lantai atap $= q_L = 97,64 \times 3,5 = 341,739 \text{ kg/m'}$
 $= 3,417 \text{ kg/cm'}$

• Beban terfaktor

$$\begin{aligned}
 q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\
 &= 1,2 (1796,7) + 1,6 (341,739) \\
 &= 2702,82 \text{ kg/m'} \\
 &= 27,028 \text{ kg/cm'}
 \end{aligned}$$

b. Gaya dalam pada balok anak lantai atap

- Momen

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 2702,82 \cdot (8,7)^2 \\ &= 25572,051 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Geser

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2702,82 \cdot 8,7 \\ &= 2939,316 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned} \delta_{ijin} &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{870}{360} \\ &= 2,417 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\begin{aligned} \delta_x &= \frac{5}{384} \times \frac{q D \cdot L^4}{E \cdot I_x} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{17,967 \cdot (870)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 33500} \\ &= 2 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\begin{aligned} \delta_x &= \frac{5}{384} \times \frac{q L \cdot L^4}{E \cdot I_x} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{3,417 \cdot (870)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 33500} \\ &= 0,38 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Syarat lendutan

$$\begin{array}{rcl}
 \delta & < & \delta_{\text{ijin}} \\
 \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} & < & 2,417 \text{ cm} \\
 \sqrt{(2+0,38)^2 + 0^2} & < & 2,417 \text{ cm} \\
 2,381 \text{ cm} & < & 2,417 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{array}$$

d. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\begin{array}{rcl}
 \frac{h}{tw} & < & 260 \\
 \frac{386}{9} & < & 260 \\
 42,89 & < & 260 \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{array}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\begin{array}{rcl}
 \frac{h}{tw} & < & 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\
 \frac{386}{9} & < & 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot (2 \times 10^5)}{250}} \\
 42,89 & < & 69,57 \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{array}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned}
 V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\
 &= 0,6 \cdot 250 \cdot (450 \times 9) \cdot 1 \\
 &= 607500 \text{ N} \\
 &= 60750 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{array}{rcl}
 V_u & \leq & \phi V_n \\
 2936,316 \text{ kg} & \leq & 0,9 \cdot 60750 \text{ kg} \\
 2936,316 \text{ kg} & < & 54765 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{array}$$

e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\begin{aligned}\frac{bf}{2tf} &< 0,38\sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{200}{2 \times 14} &< 0,38\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 7,143 &< 10,748\end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{aligned}\lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76\sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{386}{9} &< 3,76\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 42,889 &< 106,35\end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned}M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 1621,489 \cdot 2500 \\ &= 4053722,5 \text{ kg.cm} \\ &= 40537,225 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned}Mu &\leq \phi M_n \\ 25572,051 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 40537,225 \text{ kg.m} \\ 25572,051 \text{ kg.m} &< 36483,503 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- f. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$\begin{aligned}L_b &= 870 \text{ cm} \\ L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,76 \times 4,4 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\ &= 219,03 \text{ cm} \\ L_b &< L_p\end{aligned}$$

$$870 \text{ cm} > 219,03 \text{ cm}$$

Dikarenakan $L_p < L_b < L_r$, maka

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} rts &= \frac{bf}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{h \cdot tw}{bf \cdot tf} \right)}} \\ &= \frac{446}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{386,9}{200,14} \right)}} \\ &= 118,3 \text{ mm} = 11,825 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 \cdot rts \cdot \frac{E}{0,7 F_y} \cdot \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E} \right)^2}} \\ &= 1,95 \times 11,825 \times \frac{2 \times 10^6}{0,7 \cdot 2500} \cdot \sqrt{\frac{45,966,1}{1490,43,6} + \sqrt{\left(\frac{45,966,1}{1490,43,6} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 2500}{2 \times 10^6} \right)^2}} \\ &= 1464,93 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 2702,82 \cdot (8,7)^2 \\ &= 25572,051 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\ &= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot 2702,82 \cdot (8,7)^2 \\ &= 19179,079 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{1}{2}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_B &= M_{\max} \\ &= 25572,051 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_C &= M_A \\ &= 19179,079 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \\
 &= \frac{12,5 \times 25572,051}{2,5 \times 25572,051 + 3 \times 19179,079 + 4 \times 25572,051 + 3 \times 19179,079} \\
 &= 1,136
 \end{aligned}$$

- Momen lentur plastis

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot F_y \\
 &= 1621,489 \cdot 2500 \\
 &= 4053722,5 \text{ kg.cm} \\
 &= 40537,225 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\
 &= 1,136 \left[4053722,5 - (4053722,5 - 0,7 \cdot 2500 \cdot 1490) \cdot \left(\frac{870 - 219,03}{1464,93 - 219,03} \right) \right] \\
 &= 3747827,46 \text{ kg.cm} \\
 &= 37478,275 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi M_n \\
 25572,051 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 37478,275 \text{ kg.m} \\
 25572,051 \text{ kg.m} &< 33730,447 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Balok Anak Lantai 2-14

Digunakan balok profil WF 500 x 200 x 9 x 14 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 79,5 \text{ kg/m} & Z_x &= 1835,656 \text{ cm}^3 & r &= 20 \text{ mm} \\
 A &= 101,3 \text{ cm}^2 & Z_y &= 286,684 \text{ cm}^3 & S_x &= 1690 \text{ cm}^3 \\
 t_w &= 9 \text{ mm} & i_x &= 20,3 \text{ cm} & S_y &= 185 \text{ cm}^3 \\
 t_f &= 14 \text{ mm} & i_y &= 4,27 \text{ cm} \\
 d &= 496 \text{ mm} & I_x &= 41900 \text{ cm}^4 \\
 b_f &= 199 \text{ mm} & I_y &= 1840 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 496 - (2 \times (14 + 20)) = 386 \text{ mm} \\
 h_o &= 496 - 14 = 482 \text{ mm} = 48,2 \text{ cm} \\
 J &= \left(\frac{1}{3} \times 428 \times 9^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 199 \times 14^3 \right)
 \end{aligned}$$

$$= 468041,3 \text{ mm}^4 = 46,804 \text{ cm}^4$$

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

BJ 41:

$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$

$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$

Tebal pelat bondek = 11 cm

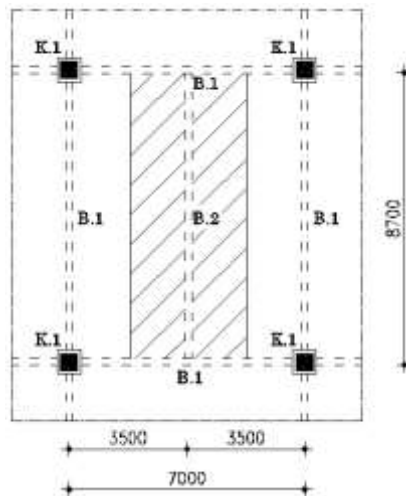
Lebar pelat bondek = 3,5 m

Panjang balok anak = 8,7 m

Beban mati lantai 2-14 = 127,53 kg/m²

Beban hidup lantai 2-14 = 195,28 kg/m²

Berat pelat bondek = 10,1 kg/m²



Gambar 4. 11 Balok Anak Lantai 2-14 yang Ditinjau

a. Pembebanan pada balok anak lantai 2-14

• Beban mati

- Berat sendiri balok = 79,5 kg/m'
- Beban mati pelat = $127,53 \times 3,5 = 446,348 \text{ kg/m'}$
- Berat beton
 $0,11 \times 2400 \times 3,5 = 924 \text{ kg/m'}$
- Berat spesi $t=2\text{cm} = 42 \times 3,5 = 147 \text{ kg/m'}$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat keramik } t=2\text{cm} &= 48 \times 3,5 = 168 \text{ kg/m} \\
 - \text{ Berat pelat bondek} &= 10,1 \times 3,5 = 35,35 \text{ kg/m} + \\
 q_D &= 1800,198 \text{ kg/m} \\
 &= 18,002 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

- Beban hidup

$$\begin{aligned}
 - \text{ Lantai atap} &= q_L = 195,28 \times 3,5 = 683,478 \text{ kg/m} \\
 &= 6,835 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

- Beban terfaktor

$$\begin{aligned}
 q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\
 &= 1,2 (1800,198) + 1,6 (683,478) \\
 &= 3253,8 \text{ kg/m} \\
 &= 32,538 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

b. Gaya dalam pada balok anak lantai 2-14

- Momen

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 3253,8 \cdot (8,7)^2 \\
 &= 30785,032 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} q_u L \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 3253,8 \cdot 8,7 \\
 &= 3538,509 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{360} \\
 &= \frac{870}{360} \\
 &= 2,417 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{qD.L^4}{E.Ix} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{18,002.(870)^4}{(2 \times 10^6).41900} \\ &= 1,602 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{qL.L^4}{E.Ix} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{6,835.(870)^4}{(2 \times 10^6).41900} \\ &= 0,608 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan

$$\delta < \delta_{ijin}$$

$$\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} < 2,417 \text{ cm}$$

$$\sqrt{(1,602 + 0,608)^2 + 0^2} < 2,417 \text{ cm}$$

$$2,211 \text{ cm} < 2,417 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$$

d. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\frac{h}{tw} < 260$$

$$\frac{428}{9} < 260$$

$$47,56 < 260$$

$\rightarrow \text{OK}$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{k_v.E}{F_y}}$$

$$\frac{428}{9} < 1,1 \sqrt{\frac{5.(2 \times 10^5)}{250}}$$

$$47,56 < 69,57 \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (496 \times 9) \cdot 1 \\ &= 669600 \text{ N} \\ &= 66960 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 3538,509 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 66960 \text{ kg} \\ 3538,509 \text{ kg} &< 60264 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{199}{2 \times 14} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 7,107 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{428}{9} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 47,556 &< 106,35 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 1835,656 \cdot 2500 \\ &= 4589140 \text{ kg.cm} \\ &= 45891,4 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 30785,032 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 45891,4 \text{ kg.m} \\ 30785,032 \text{ kg.m} &< 41302,26 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- f. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$L_b = 870 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,76 \cdot 42,27 \cdot \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\ &= 212,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_b &< L_p \\ 870 \text{ cm} &> 212,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dikarenakan $L_p < L_b < L_r$, maka

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} rts &= \frac{b_f}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{h \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} \right)}} \\ &= \frac{496}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{428,9}{199,14} \right)}} \\ &= 129,08 \text{ mm} = 12,908 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 \cdot rts \cdot \frac{E}{0,7 F_y} \cdot \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E} \right)^2}} \\ &= 1,95 \cdot 12,908 \cdot \frac{2 \times 10^5}{0,7 \cdot 250} \cdot \sqrt{\frac{46,804,1}{1690,48,2} + \sqrt{\left(\frac{46,804,1}{1690,48,2} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 2500}{2 \times 10^6} \right)^2}} \\ &= 1554,729 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 3253,8 \cdot (8,7)^2$$

$$= 30785,032 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang:

$$M_A = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot 3253,8 \cdot (8,7)^2$$

$$= 23088,774 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{1}{2}$ bentang:

$$M_B = M_{\max}$$

$$= 30785,032 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang:

$$M_C = M_A$$

$$= 23088,774 \text{ kg.m}$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$$

$$= \frac{12,5 \cdot 30785,032}{2,5 \cdot 30785,032 + 3 \cdot 23088,774 + 4 \cdot 30785,032 + 3 \cdot 23088,774}$$

$$= 21,136$$

- Momen lentur plastis

$$M_p = Z_x \cdot F_y$$

$$= 1835,656 \cdot 2500$$

$$= 4589140 \text{ kg.cm}$$

$$= 45891,4 \text{ kg.m}$$

- Momen lentur nominal

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$= 1,136 \left[4589140 - (4589140 - 0,7 \cdot 2500 \cdot 1690) \cdot \left(\frac{870 - 212,6}{1554,729 - 212,6} \right) \right]$$

$$= 4306714,441 \text{ kg.cm}$$

$$= 43067,144 \text{ kg.m}$$

- Syarat kuat lentur

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$30785,032 \text{ kg.m} \leq 0,9 \cdot 43067,144 \text{ kg.m}$$

$$30785,032 \text{ kg.m} < 38760,43 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}$$

4.2.4 Balok Anak Lantai 1

1) Balok anak B2

Digunakan balok profil WF 400 x 200 x 8 x 13 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$W = 66 \text{ kg/m} \quad Z_x = 1285,952 \text{ cm}^3 \quad r = 16 \text{ mm}$$

$$A = 84,12 \text{ cm}^2 \quad Z_y = 265,984 \text{ cm}^3 \quad S_x = 1190 \text{ cm}^3$$

$$t_w = 8 \text{ mm} \quad i_x = 16,8 \text{ cm} \quad S_y = 174 \text{ cm}^3$$

$$t_f = 13 \text{ mm} \quad i_y = 4,54 \text{ cm}$$

$$d = 400 \text{ mm} \quad I_x = 23700 \text{ cm}^4$$

$$b_f = 200 \text{ mm} \quad I_y = 1740 \text{ cm}^4$$

$$h_w = 400 - (2 \times (13 + 16)) = 342 \text{ mm}$$

$$h_o = 400 - 13 = 387 \text{ mm} = 38,7 \text{ cm}$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \times 342 \times 8^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 200 \times 13^3 \right)$$

$$= 351301,3 \text{ mm}^4 = 35,13 \text{ cm}^4$$

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

BJ 41:

$$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tebal pelat bondek} = 15 \text{ cm}$$

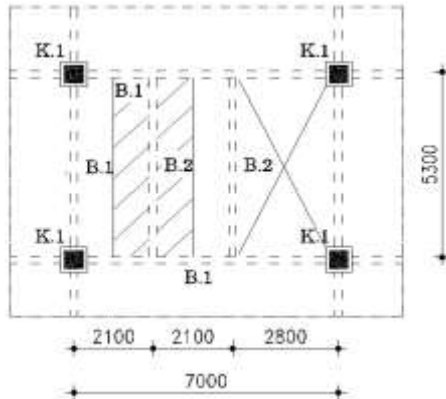
$$\text{Lebar pelat bondek} = 2,1 \text{ m}$$

$$\text{Panjang balok anak} = 5,3 \text{ m}$$

$$\text{Beban mati lantai 1} = 127,53 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup lantai 1} = 487,18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat pelat bondek} = 10,1 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 4. 12 Balok Anak B2 Lantai 1 yang Ditinjau

a. Pembebanan pada balok anak lantai 1

• Beban mati

- Berat sendiri balok = 66 kg/m'
- Beban mati pelat = $127,53 \times 2,1 = 267,809 \text{ kg/m'}$
- Berat beton
 $0,15 \times 2400 \times 2,1 = 756 \text{ kg/m'}$
- Berat spesi $t=2\text{cm} = 42 \times 2,1 = 88,2 \text{ kg/m'}$
- Berat keramik $t=2\text{cm} = 48 \times 2,1 = 100,8 \text{ kg/m'}$
- Berat pelat bondek = $10,1 \times 2,1 = 21,21 \text{ kg/m'}$ +
 $q_D = 1300,019 \text{ kg/m'}$
 $= 13 \text{ kg/cm'}$

• Beban hidup

- Lantai atap = $q_L = 487,18 \times 2,1 = 1023,081 \text{ kg/m'}$
 $= 10,231 \text{ kg/cm'}$

• Beban terfaktor

$$\begin{aligned}
 q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\
 &= 1,2 (1300,019) + 1,6 (1023,081) \\
 &= 3196,95 \text{ kg/m'} \\
 &= 31,969 \text{ kg/cm'}
 \end{aligned}$$

b. Gaya dalam pada balok anak lantai 1

• Momen

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{1}{8} \cdot qu \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 3196,95 \cdot (5,3)^2 \\ &= 11225,296 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

• Geser

$$\begin{aligned} Vu &= \frac{1}{2} \cdot qu \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3196,95 \cdot 5,3 \\ &= 2117,98 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

• Lendutan ijin

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{530}{360} \\ &= 1,472 \text{ cm} \end{aligned}$$

• Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\begin{aligned} \delta_x &= \frac{5}{384} \cdot x \frac{qD \cdot L^4}{E \cdot I_x} \\ &= \frac{5}{384} \cdot x \frac{13 \cdot (530)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 23700} \\ &= 0,282 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\begin{aligned} \delta_x &= \frac{5}{384} \cdot x \frac{qL \cdot L^4}{E \cdot I_x} \\ &= \frac{5}{384} \cdot x \frac{10,231 \cdot (530)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 23700} \\ &= 0,222 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Syarat lendutan

$$\begin{aligned}\delta &< \delta_{\text{ijin}} \\ \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} &< 2,417 \text{ cm} \\ \sqrt{(0,282 + 0,222)^2 + 0^2} &< 2,417 \text{ cm} \\ 0,504 \text{ cm} &< 2,417 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- d. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\begin{aligned}\frac{h}{t_w} &< 260 \\ \frac{342}{8} &< 260 \\ 42,75 &< 260 \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\begin{aligned}\frac{h}{t_w} &< 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ \frac{342}{8} &< 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot (2 \times 10^5)}{250}} \\ 42,75 &< 69,57 \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned}V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (400 \times 8) \cdot 1 \\ &= 480000 \text{ N} \\ &= 48000 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned}V_u &\leq \phi V_n \\ 2117,98 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 48000 \text{ kg} \\ 2117,98 \text{ kg} &< 43200 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\begin{aligned}\frac{bf}{2tf} &< 0,38\sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{200}{2 \times 13} &< 0,38\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 7,692 &< 10,748\end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{aligned}\lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76\sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{342}{8} &< 3,76\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 42,75 &< 106,35\end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned}M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 1285,952 \cdot 2500 \\ &= 3214880 \text{ kg.cm} \\ &= 32148,8 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned}M_u &\leq \phi M_n \\ 11225,296 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 32148,8 \text{ kg.m} \\ 11225,296 \text{ kg.m} &< 28933,92 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- f. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$L_b = 530 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,76 \cdot 4,54 \cdot \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\ &= 226 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$L_b < L_p$$

$$530 \text{ cm} > 226 \text{ cm}$$

Dikarenakan $L_p < L_b < L_r$, maka

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot F_y \cdot S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} r_{ts} &= \frac{bf}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{h \cdot tw}{bf \cdot tf} \right)}} \\ &= \frac{400}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{342,8}{200 \cdot 13} \right)}} \\ &= 106,5 \text{ mm} = 10,65 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E} \right)^2}} \\ &= 1,95 \times 10,65 \cdot \frac{2 \times 10^5}{0,7 \cdot 250} \times \sqrt{\frac{35,13,1}{1190,38,7} + \sqrt{\left(\frac{35,13,1}{1190,38,7} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 2500}{2 \times 10^6} \right)^2}} \\ &= 1334,774 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \frac{1}{8} \cdot qu \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 3196,95 \cdot (5,3)^2 \\ &= 11225,296 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot qu \cdot L^2 \\ &= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot 3196,95 \cdot (5,3)^2 \\ &= 8418,972 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{1}{2}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_B &= M_{\max} \\ &= 11225,296 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_C &= M_A \\ &= 8418,972 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \\
 &= \frac{12,5 \times 11225,296}{2,5 \times 11225,296 + 3 \times 8418,972 + 4 \times 11225,296 + 3 \times 8418,972} \\
 &= 1,136
 \end{aligned}$$

- Momen lentur plastis

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot F_y \\
 &= 1285,952 \cdot 2500 \\
 &= 3214880 \text{ kg.cm} \\
 &= 32148,8 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\
 &= 1,136 \left[3214880 - (3214880 - 0,7 \cdot 2500 \cdot 1190) \cdot \left(\frac{530 - 226}{1334,774 - 226} \right) \right] \\
 &= 3300465,524 \text{ kg.cm} \\
 &= 33004,655 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi M_n \\
 11225,296 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 33004,655 \text{ kg.m} \\
 11225,296 \text{ kg.m} &< 29704,19 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

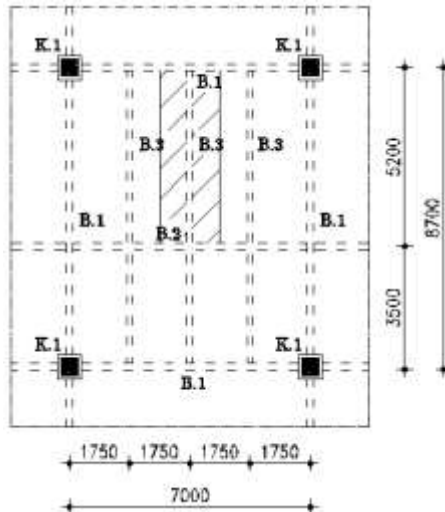
2) Balok anak B3

Digunakan balok profil WF 300 x 150 x 5,5 x 8 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 32 \text{ kg/m} & Z_x &= 455,026 \text{ cm}^3 & r &= 13 \text{ mm} \\
 A &= 40,8 \text{ cm}^2 & Z_y &= 90,937 \text{ cm}^3 & S_x &= 424 \text{ cm}^3 \\
 t_w &= 5,5 \text{ mm} & i_x &= 12,4 \text{ cm} & S_y &= 59,3 \text{ cm}^3 \\
 t_f &= 8 \text{ mm} & i_y &= 3,29 \text{ cm} \\
 d &= 298 \text{ mm} & I_x &= 6320 \text{ cm}^4 \\
 b_f &= 149 \text{ mm} & I_y &= 442 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 298 - (2 \times (8 + 13)) = 256 \text{ mm} \\
 h_o &= 298 - 8 = 290 \text{ mm} = 29 \text{ cm} \\
 J &= \left(\frac{1}{3} \times 256 \times 5,5^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 149 \times 8^3 \right)
 \end{aligned}$$

$$= 65056 \text{ mm}^4 = 6,506 \text{ cm}^4$$

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
BJ 41:
 $F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
 $F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$
Tebal pelat bondek = 15 cm
Lebar pelat bondek = 1,75 m
Panjang balok anak = 5,2 m
Beban mati lantai 1 = 127,53 kg/m²
Beban hidup lantai 1 = 487,18 kg/m²
Berat pelat bondek = 10,1 kg/m²



Gambar 4. 13 Balok Anak B3 Lantai 1 yang Ditinjau

a. Pembebanan pada balok anak lantai 1

• Beban mati

- Berat sendiri balok = 32 kg/m'
- Beban mati pelat = $127,53 \times 1,75 = 223,174 \text{ kg/m'}$
- Berat beton = $0,15 \times 2400 \times 1,75 = 630 \text{ kg/m'}$

- Berat spesi $t=2\text{cm} = 42 \times 1,75 = 73,5 \text{ kg/m'}$
- Berat keramik $t=2\text{cm} = 48 \times 1,75 = 84 \text{ kg/m'}$
- Berat pelat bondek $= 10,1 \times 1,75 = 17,675 \text{ kg/m'}$
- $q_D = \frac{1060,349 \text{ kg/m'}}$
 $= 10,603 \text{ kg/cm'}$

- Beban hidup

- Lantai atap $= q_L = 487,18 \times 1,75 = 852,567 \text{ kg/m'}$
 $= 8,526 \text{ kg/cm'}$

- Beban terfaktor

$$\begin{aligned}
 q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\
 &= 1,2 (1060,349) + 1,6 (852,567) \\
 &= 2636,53 \text{ kg/m'} \\
 &= 26,365 \text{ kg/cm'}
 \end{aligned}$$

b. Gaya dalam pada balok anak lantai 1

- Momen

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 2636,53 \cdot (5,2)^2 \\
 &= 8911,459 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 2636,53 \cdot 5,2 \\
 &= 1713,742 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{360} \\
 &= \frac{520}{360} \\
 &= 1,444 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{q D L^4}{E I_x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{10,603 \cdot (520)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 6320} \\ &= 0,799 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{q L L^4}{E I_x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{8,526 \cdot (520)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 6320} \\ &= 0,642 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan

$$\begin{aligned}\delta &< \delta_{ijin} \\ \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} &< 1,444 \text{ cm} \\ \sqrt{(0,799 + 0,642)^2 + 0^2} &< 1,444 \text{ cm} \\ 1,341 \text{ cm} &< 1,444 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

d. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\begin{aligned}\frac{h}{t_w} &< 260 \\ \frac{256}{5,5} &< 260 \\ 46,55 &< 260 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\begin{aligned}\frac{h}{t_w} &< 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ \frac{256}{5,5} &< 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot (2 \times 10^5)}{250}} \\ 46,55 &< 69,57 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (298 \times 5,5) \cdot 1 \\ &= 245850 \text{ N} \\ &= 24585 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 1713,742 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 24585 \text{ kg} \\ 1713,742 \text{ kg} &< 22126,5 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{149}{2 \times 8} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 9,313 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{256}{5,5} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 46,545 &< 106,35 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 455,026 \cdot 2500 \\ &= 1137563,75 \text{ kg.cm} \\ &= 11375,638 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned}
 Mu &\leq \phi Mn \\
 8911,459 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 11375,638 \text{ kg.m} \\
 8911,459 \text{ kg.m} &< 10238,074 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

f. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$L_b = 520 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 1,76 \times 3,29 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\
 &= 163,8 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_b &< L_p \\
 520 \text{ cm} &> 226 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $L_p < L_b < L_r$, maka

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 \cdot F_y \cdot S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$\begin{aligned}
 r_{ts} &= \frac{b_f}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{h \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} \right)}} \\
 &= \frac{298}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{256,5,5}{149,8} \right)}} \\
 &= 78,63 \text{ mm} = 7,863 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot F_y}{E} \right)^2}} \\
 &= 1,95 \times 7,863 \times \frac{2 \times 10^5}{0,7 \cdot 250} \times \sqrt{\frac{6,506,1}{424,29} + \sqrt{\left(\frac{6,506,1}{424,29} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 2500}{2 \times 10^6} \right)^2}} \\
 &= 937,942 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 2636,53 \cdot (5,2)^2
 \end{aligned}$$

$$= 8911,459 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\ &= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot 2636,53 \cdot (5,2)^2 \\ &= 6683,594 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{1}{2}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_B &= M_{\max} \\ &= 8911,459 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang:

$$\begin{aligned} M_C &= M_A \\ &= 6683,594 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \\ &= \frac{12,5 \times 8911,459}{2,5 \times 8911,459 + 3 \times 6683,594 + 4 \times 8911,459 + 3 \times 6683,594} \\ &= 1,136 \end{aligned}$$

- Momen lentur plastis

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot F_y \\ &= 455,026 \cdot 2500 \\ &= 1137563,75 \text{ kg.cm} \\ &= 11375,638 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\ &= 1,136 \left[1137563,75 - (1137563,75 - 0,7 \cdot 2500 \cdot 424) \cdot \left(\frac{520 - 163,8}{937,942 - 163,8} \right) \right] \\ &= 1085851,941 \text{ kg.cm} \\ &= 10858,519 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

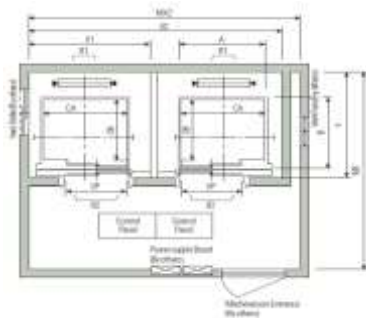
- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 8911,459 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 10858,519 \text{ kg.m} \\ 8911,459 \text{ kg.m} &< 9772,667 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

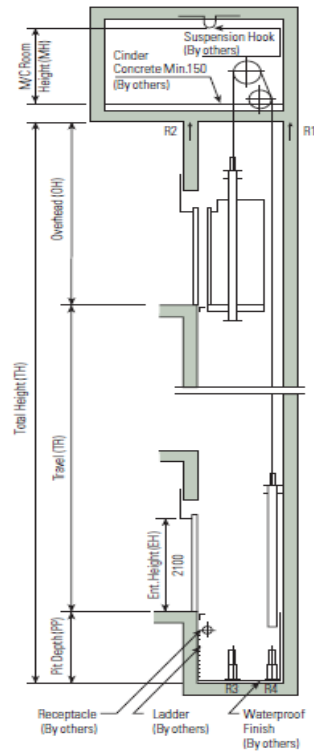
4.3 Perencanaan Balok *Lift*

Pada perencanaan balok *lift* meliputi balok-balok yang berkaitan dengan ruang mesin *lift* yaitu balok pembagi dan balok penumpu. Pada bangunan ini digunakan *lift* penumpang dengan data-data sebagai berikut (untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran brosur *lift*):

- Tipe lift : *Passenger Elevators*
- Merek : HYUNDAI
- Kapasitas : 15 Orang /1000 kg
- Lebar pintu (*opening width*) : 900 mm
- Dimensi ruang luncur (*hoistway inside*) 2 car : 4200 x 2100 mm²
- Dimensi ruang mesin : 4400 x 3850 mm²
- Dimensi sangkar (*Car size*)
 - Internal : 1600 x 1500 mm²
 - Eksternal : 1660 x 1655 mm²
- Beban reaksi ruang mesin :
 - $R_1 = 5450 \text{ kg}$
 - $R_2 = 4300 \text{ kg}$



Gambar 4. 14 Denah *Lift*



Gambar 4. 15 Potongan Melintang *Lift*

4.3.1 Balok Pembagi *Lift*

Direncanakan balok pembagi *lift* menggunakan profil WF 100 x 50 x 5 x 7 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 9,3 \text{ kg/m} & Z_x &= 41,795 \text{ cm}^3 & r &= 8 \text{ mm} \\
 A &= 17,85 \text{ cm}^2 & Z_y &= 9,288 \text{ cm}^3 & S_x &= 37,5 \text{ cm}^3 \\
 tw &= 5 \text{ mm} & ix &= 3,98 \text{ cm} & S_y &= 5,91 \text{ cm}^3 \\
 tf &= 7 \text{ mm} & iy &= 1,12 \text{ cm} \\
 d &= 100 \text{ mm} & I_x &= 187 \text{ cm}^4 \\
 bf &= 50 \text{ mm} & I_y &= 14,8 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 100 - (2 \times (7 + 8)) = 70 \text{ mm} \\
 h_o &= 100 - 7 = 93 \text{ mm} = 9,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \times 70 \times 5^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 50 \times 7^3 \right)$$

$$= 14350 \text{ mm}^4 = 1,435 \text{ cm}^4$$

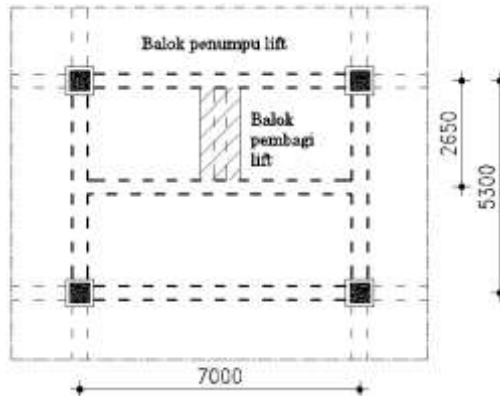
Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

BJ 41:

$$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

Panjang balok = 2,65 m



Gambar 4. 16 Balok Pembagi Lift

a. Pembebanan pada balok pembagi lift

• Beban mati

$$\begin{aligned} & \text{- Berat sendiri balok} && = 9,3 \text{ kg/m} \\ & \text{- Berat sambungan, dll (10\%)} && = 0,93 \text{ kg/m} \\ & q_D && = 10,23 \text{ kg/m} \\ & && = 0,102 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

• Beban hidup

$$\begin{aligned} & \text{- Beban pekerja terpusat} = \frac{100}{7} && = 14,286 \text{ kg/m} \\ & && = 0,143 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

• Beban terfaktor

$$\begin{aligned} q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2 (10,23) + 1,6 (14,286) \end{aligned}$$

$$= 35,13 \text{ kg/m'}$$

$$= 0,351 \text{ kg/cm'}$$

b. Gaya dalam pada balok pembagi *lift*

- Momen

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 35,13 \cdot (2,65)^2$$

$$= 30,84 \text{ kg.m}$$

- Geser

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 35,13 \cdot 2,65$$

$$= 11,638 \text{ kg}$$

c. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

- Lendutan ijin

$$\delta_{ijin} = \frac{L}{240}$$

$$= \frac{265}{240}$$

$$= 1,104 \text{ cm}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\delta_x = \frac{5}{384} \times \frac{qD \cdot L^4}{E \cdot I_x}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{0,102 \cdot (265)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 187}$$

$$= 0,018 \text{ cm}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\delta_x = \frac{5}{384} \times \frac{qL \cdot L^4}{E \cdot I_x}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{0,143 \cdot (265)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 187}$$

$$= 0,024 \text{ cm}$$

- Syarat lendutan

$$\delta < \delta_{ijin}$$

$$\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} < 1,104 \text{ cm}$$

$$\sqrt{(0,018 + 0,024)^2 + 0^2} < 1,104 \text{ cm}$$

$$0,042 \text{ cm} < 1,104 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$$

- d. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\frac{h}{tw} < 260$$

$$\frac{70}{5} < 260$$

$$14 < 260 \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$\frac{70}{5} < 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot (2 \times 10^5)}{250}}$$

$$14 < 69,57 \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$= 0,6 \cdot 250 \cdot (100 \times 5) \cdot 1$$

$$= 75000 \text{ N}$$

$$= 7500 \text{ kg}$$

- Syarat kekuatan geser

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$11,638 \text{ kg} \leq 0,9 \cdot 7500 \text{ kg}$$

$$11,638 \text{ kg} < 6750 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}$$

- e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Flange: } \lambda & < & \lambda_p \\
 \frac{bf}{2tf} & < & 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{50}{2 \times 7} & < & 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\
 3,571 & < & 10,748
 \end{array}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Web: } \lambda & < & \lambda_p \\
 \frac{h}{tw} & < & 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{70}{5} & < & 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\
 14 & < & 106,35
 \end{array}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_x \cdot F_y \\
 &= 41,795 \cdot 2500 \\
 &= 104487,5 \text{ kg.cm} \\
 &= 1044,875 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{array}{rcl}
 M_u & \leq & \phi M_n \\
 30,84 \text{ kg.m} & \leq & 0,9 \cdot 1044,875 \text{ kg.m} \\
 30,84 \text{ kg.m} & < & 940,388 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \quad \text{OK}
 \end{array}$$

4.3.2 Balok Penumpu *Lift*

Direncanakan balok penumpu *lift* menggunakan profil WF 400 x 200 x 7 x 11 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{array}{llll}
 W &= 56,6 \text{ kg/m} & Z_x &= 1087,548 \text{ cm}^3 & r &= 16 \text{ mm} \\
 A &= 72,16 \text{ cm}^2 & Z_y &= 222,387 \text{ cm}^3 & S_x &= 1010 \text{ cm}^3 \\
 tw &= 7 \text{ mm} & ix &= 16,7 \text{ cm} & S_y &= 145 \text{ cm}^3
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 t_f &= 11 \text{ mm} & i_y &= 4,48 \text{ cm} \\
 d &= 396 \text{ mm} & I_x &= 20000 \text{ cm}^4 \\
 b_f &= 199 \text{ mm} & I_y &= 1450 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 396 - (2 \times (11 + 16)) = 342 \text{ mm} \\
 h_o &= 396 - 11 = 385 \text{ mm} = 38,5 \text{ cm} \\
 J &= \left(\frac{1}{3} \times 342 \times 7^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 199 \times 1^3 \right) \\
 &= 215681,333 \text{ mm}^4 = 21,568 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

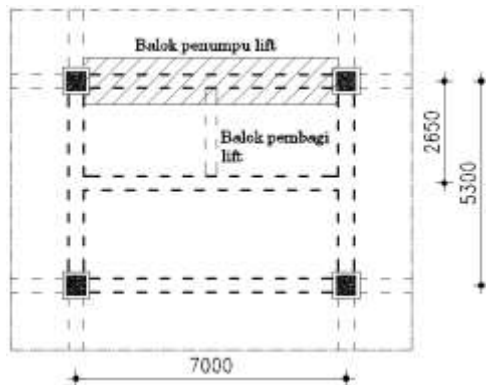
BJ 41:

$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$

$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$

Panjang balok $= 7 \text{ m}$

Berat balok pembagi lift $= 9,3 \text{ kg/m}'$



Gambar 4. 17 Balok Penumpu Lift

a. Pembebanan pada balok penumpu lift

• Beban mati

$$\begin{aligned}
 &\text{- Berat sendiri balok} &&= 56,6 \text{ kg/m}' \\
 &\text{- Berat balok pembagi lift} &&= 9,3 \text{ kg/m}' + \\
 &&&= 65,9 \text{ kg/m}' \\
 &\text{- Berat sambungan, dll (10\%)} &&= 6,59 \text{ kg/m}' + \\
 &\quad q_D &&= 72,49 \text{ kg/m}'
 \end{aligned}$$

$$= 0,725 \text{ kg/cm'}$$

- Beban hidup

- Beban pekerja terpusat = $\frac{100}{7}$ = 14,286 kg/m'

$$= 0,143 \text{ kg/cm'}$$

- Beban terfaktor

$$\begin{aligned} q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2 (72,49) + 1,6 (14,286) \\ &= 109,85 \text{ kg/m' } \\ &= 1,098 \text{ kg/cm' } \end{aligned}$$

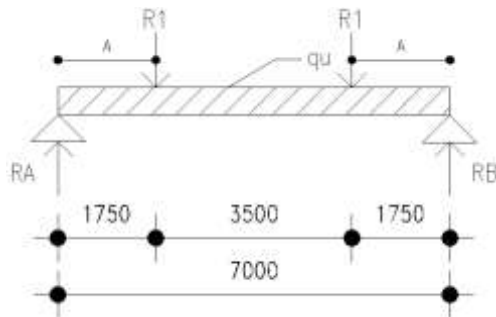
b. Gaya dalam pada balok penumpu *lift*

- Beban terpusat lift

Pada pasal 4.6 *Impact Load* SNI 1727:2013 (Peraturan Pembebanan Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain) menyatakan bahwa semua beban elevator harus ditingkatkan 50% untuk mesin yang bergerak maju dan mundur atau unit tenaga-*driven*, Semua persentase harus meningkat bila disyaratkan oleh produsen.

$$R_1 = R_1. \text{ KLL} = 5450 \times (1 + 50\%) = 8175 \text{ kg}$$

$$R_2 = R_2. \text{ KLL} = 4300 \times (1 + 50\%) = 6450 \text{ kg}$$



Gambar 4. 18 Model Pembebanan Balok Penumpu *Lift*

- Reaksi Tumpuan

$R_a = R_b$, maka :

$$R_a = \frac{R_1 \cdot 2 + Q}{2}$$

$$R_a = \frac{8175,2 + 109,85 \cdot 7}{2} = 8559,458 \text{ kg}$$

- Momen

$$\begin{aligned} M_u &= R_a \cdot \frac{1}{2}L - R_1 \cdot \frac{1}{4}L - \left(\left(\frac{1}{2} \cdot q_u \cdot \frac{1}{2}L \right) \cdot \frac{1}{4}L \right) \\ &= 8559,475 \cdot 3,5 - 8175,1,75 + \frac{1}{2} \cdot (109,85 \cdot 3,5) \cdot 1,75 \\ &= 15315,497 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Geser

$$\begin{aligned} V_u &= R_1 + \frac{1}{2} \cdot q_u \cdot L \\ &= 8175 + \frac{1}{2} \cdot 109,85 \cdot 7 \\ &= 8559,458 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned} \delta_{ijin} &= \frac{L}{240} \\ &= \frac{700}{240} \\ &= 2,917 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati merata

$$\begin{aligned} \delta_x &= \frac{5}{384} x \frac{q D \cdot L^4}{E \cdot I_x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{0,725 \cdot (700)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 20000} \\ &= 0,057 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup merata

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{qL.L^4}{E.Ix} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{0,143.(700)^4}{(2 \times 10^6).20000} \\ &= 0,011 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup terpusat

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{R_1.A}{24.EI} x (3L^2 - 4A^2) \\ &= \frac{8175.175}{24.2000000.20000} x (3(700^2) - 4(175^2)) \\ &= 2,008 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{menentukan}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan

$$\delta < \delta_{ijin}$$

$$\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} < 2,917 \text{ cm}$$

$$\sqrt{(0,057 + 2,008)^2 + 0^2} < 2,917 \text{ cm}$$

$$2,065 \text{ cm} < 2,917 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$$

- d. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\frac{h}{tw} < 260$$

$$\frac{342}{7} < 260$$

$$48,86 < 260 \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{k_v.E}{F_y}}$$

$$\frac{342}{7} < 1,1 \sqrt{\frac{5.(2 \times 10^5)}{250}}$$

$$48,86 < 69,57 \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (396 \times 7) \cdot 1 \\ &= 415800 \text{ N} \\ &= 41580 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 8559,458 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 41580 \text{ kg} \\ 8559,458 \text{ kg} &< 37422 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{199}{2 \times 11} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 9,045 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{342}{7} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 48,86 &< 106,35 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 1087,548 \cdot 2500 \\ &= 2718870 \text{ kg.cm} \\ &= 27188,7 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi M_n \\
 15315,497 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 27188,7 \text{ kg.m} \\
 15315,497 \text{ kg.m} &< 24469,83 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

f. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$L_b = 700 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 1,76 \cdot 4,48 \cdot \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\
 &= 223 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_b &< L_p \\
 700 \text{ cm} &> 223 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $L_p < L_b < L_r$, maka

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$\begin{aligned}
 r_{ts} &= \frac{b_f}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{h \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} \right)}} \\
 &= \frac{346}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{342,7}{199,11} \right)}} \\
 &= 105,13 \text{ mm} = 10,513 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 F_y} \cdot \sqrt{\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x \cdot h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E} \right)^2}} \\
 &= 1,95 \cdot 10,513 \cdot \frac{2 \times 10^6}{0,7 \cdot 2500} \cdot \sqrt{\frac{21,568,1}{1010,38,5} + \sqrt{\left(\frac{21,568,1}{1010,38,5} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 2500}{2 \times 10^6} \right)^2}} \\
 &= 1260,939 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$M_{\max} = R_A \cdot \frac{1}{2} L - R_1 \cdot \frac{1}{4} L - \left(\left(\frac{1}{2} \cdot q_u \cdot \frac{1}{2} L \right) \cdot \frac{1}{4} L \right)$$

$$= 8559,475.3,5 - 8175.1,75 + \frac{1}{2} \cdot (109,85.3,5) \cdot 1,75$$

$$= 15315,497 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang:

$$M_A = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot qu \cdot L^2$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot 109,85 \cdot (7)^2$$

$$= 504,601 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{1}{2}$ bentang:

$$M_B = M_{\max}$$

$$= 672,802 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang:

$$M_C = M_A$$

$$= 504,601 \text{ kg.m}$$

$$C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$= \frac{12,5 \times 672,802}{2,5 \times 672,802 + 3 \times 504,601 + 4 \times 672,802 + 3 \times 504,601}$$

$$= 1,136$$

• Momen lentur plastis

$$M_p = Z_x \cdot F_y$$

$$= 1087,548 \cdot 2500$$

$$= 2718870 \text{ kg.cm}$$

$$= 27188,7 \text{ kg.m}$$

• Momen lentur nominal

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$= 1,136 \left[2718870 - (2718870 - 0,7 \cdot 2500 \cdot 1010) \cdot \left(\frac{700 - 223}{1260,939 - 223} \right) \right]$$

$$= 2592797,464 \text{ kg.cm}$$

$$= 25927,975 \text{ kg.m}$$

• Syarat kuat lentur

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$15315,497 \text{ kg.m} \leq 0,9 \cdot 25927,975 \text{ kg.m}$$

$$15315,497 \text{ kg.m} < 23335,177 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}$$

4.4 Perencanaan Tangga

Pada bangunan perhotelan ini direncanakan struktur tangga berfungsi sebagai tangga darurat dengan menggunakan konstruksi dari baja.

4.4.1 Data Perencanaan Tangga

- Tinggi lantai = 4,8 m
- Panjang bordes = 2,8 m
- Tinggi bordes = 2,4 m
- Lebar bordes = 1,3 m
- Panjang anak tangga (1/2 L bordes) = 1,3 m
- Lebar injakan (i) = 28 cm
- Tinggi injakan (t) = 20 cm
- Lebar pegangan tangga = 5 cm
- BJ 41: Fy = 250 MPa = 2500 kg/cm²
- Fu = 410 MPa = 4100 kg/cm²
- E = 200000 MPa = 2x10⁶ kg/cm²
- Berat jenis baja = 7850 kg/m³

4.4.2 Perencanaan Jumlah Injakan Tangga

- a. Persyaratan jumlah injakan tangga

$$25^\circ < \alpha < 40^\circ$$

Dimana: α = kemiringan tangga

- b. Perhitungan jumlah injakan tangga

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tanjakan} &= \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi injakan}} \\ &= \frac{240}{20} \end{aligned}$$

$$= 12 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah injakan} = 12 - 1 = 11 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang tangga} &= \text{lebar injakan} \times \text{jumlah tanjakan} \\ &= 28 \times 12 \end{aligned}$$

$$= 336 \text{ cm} = 3,36 \text{ m}$$

c. Sudut kemiringan tangga

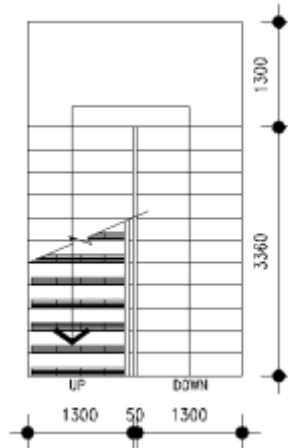
$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$= \arctan \frac{20}{28}$$

$$= 35,54^\circ$$

$$\text{Syarat: } 25^\circ < \alpha < 40^\circ$$

$$25^\circ < 35,54^\circ < 40^\circ$$



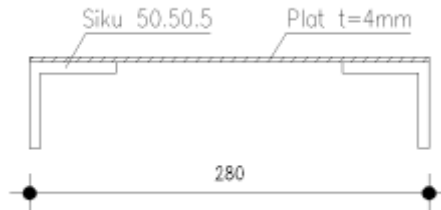
Gambar 4. 19 Denah Tangga

4.4.3 Perencanaan Anak Tangga

1. Pelat anak tangga

Direncanakan tebal pelat anak tangga 4 mm.

Diketahui: panjang injakan = 1,3 m



Gambar 4. 20 Pelat Anak Tangga

a. Pembebanan pada pelat anak tangga

• Beban mati

- Berat pelat = $0,004 \times 1,3 \times 7850 = 40,82 \text{ kg/m'}$
- Berat sambungan, dll (10%) $\frac{40,82 \text{ kg/m'}}{q_D} +$
 $= 44,9 \text{ kg/m'}$
 $= 0,449 \text{ kg/cm'}$

• Beban hidup

- Beban merata (SNI 1727:2013, Tabel 4-1)
 $q_L = 4,79 \text{ kN/m}^2 = 488,436 \text{ kg/m}^2$
 $q_L = 488,436 \times 1,3$
 $= 634,967 \text{ kg/m'}$
 $= 6,35 \text{ kg/cm'}$
- Beban terpusat (SNI 1727:2013, Pasal 4.5.4)
 $P_L = 1,33 \text{ kN} = 135,62 \text{ kg}$

• Momen

- Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned}
 M_D &= \frac{1}{8} \cdot q_D \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 44,9 \cdot (0,28)^2 \\
 &= 0,44 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban hidup merata

$$\begin{aligned}
 M_L &= \frac{1}{8} \cdot q_L \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 634,967 \cdot (0,28)^2 \\
 &= 6,223 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat beban hidup terpusat

$$\begin{aligned}
 M_L &= \frac{1}{4} \cdot P_L \cdot L \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 135,62 \cdot 0,28 \\
 &= 9,493 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \text{menentukan}
 \end{aligned}$$

- Momen terfaktor

$$\begin{aligned}
 M_u &= 1,2 M_D + 1,6 M_L \\
 &= 1,2 (0,44) + 1,6 (9,493) \\
 &= 15,717 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

b. Kontrol lendutan pelat (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

$$L = 28 \text{ cm}$$

- Momen inersia

$$\begin{aligned}
 I_x &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \cdot 130 \cdot 0,4^3 \\
 &= 0,693 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{240} \\
 &= \frac{28}{240} \\
 &= 0,117 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati merata

$$\begin{aligned}
 \delta_x &= \frac{5}{384} \cdot x \cdot \frac{q D \cdot L^4}{E \cdot I_x} \\
 &= \frac{5}{384} \cdot x \cdot \frac{0,449 \cdot (28)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 0,693} \\
 &= 0,003 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup merata

$$\delta_x = \frac{5}{384} \cdot x \cdot \frac{q L \cdot L^4}{E \cdot I_x}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{6,35 \cdot (28)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 0,693}$$

$$= 0,037 \text{ cm}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup terpusat

$$\delta_x = \frac{P_L \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_x}$$

$$= \frac{135,62 \cdot (28)^3}{48 \cdot (2 \times 10^6) \cdot 0,693}$$

$$= 0,045 \text{ cm}$$

→ menentukan

- Syarat lendutan

$$\delta < \delta_{ijin}$$

$$\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} < 0,117 \text{ cm}$$

$$\sqrt{(0,003 + 0,045)^2 + 0^2} < 0,117 \text{ cm}$$

$$0,047 \text{ cm} < 0,117 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}$$

c. Kontrol kekuatan lentur pelat

- Modulus penampang plastis

$$Z_x = \frac{1}{4} \cdot b \cdot x \cdot h^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 130 \cdot 0,4^2$$

$$= 5,2 \text{ cm}^3$$

- Kekuatan lentur pelat

$$\phi M_n = \phi \cdot Z_x \cdot F_y$$

$$= 0,9 \cdot 5,2 \cdot 2500$$

$$= 11700 \text{ kg.cm}$$

$$= 117 \text{ kg.m}$$

- Syarat kekuatan lentur

$$M_u \leq \phi M_n$$

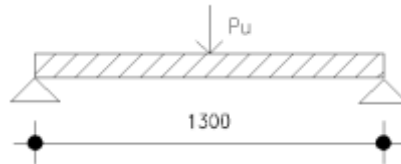
$$15,717 \text{ kg.m} < 117 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \text{OK}$$

2. Pengaku anak tangga

Direncanakan pengaku menggunakan profil siku 50x50x5.

$$\begin{array}{lll} d = 50 \text{ mm} & A = 4,8 \text{ cm}^2 & t = 5 \text{ mm} \\ b = 50 \text{ mm} & i_x = 1,51 \text{ cm} & I_x = 11 \text{ cm}^4 \\ W = 3,77 \text{ kg/m} & i_y = 1,51 \text{ cm} & I_y = 11 \text{ cm}^4 \end{array}$$

a. Pembebanan pada pengaku anak tangga



Gambar 4. 21 Pembebanan pada Pengaku Anak Tangga

- Beban mati (untuk setengah lebar injakan)
 - Berat pelat = $0,004 \times 0,14 \times 7850 = 4,396 \text{ kg/m'}$
 - Berat profil siku $\quad \quad \quad = 4,8 \text{ kg/m'}$ +
 - $\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad = 9,196 \text{ kg/m'}$
 - Berat sambungan, dll (10%) $\quad \quad \quad = 0,92 \text{ kg/m'}$
 - $\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad q_D \quad \quad \quad = 10,12 \text{ kg/m'}$
 - $\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad = 0,101 \text{ kg/cm'}$
- Beban hidup (untuk setengah lebar injakan)
 - Beban merata (SNI 1727:2013, Tabel 4-1)
 - $q_L = 4,79 \text{ kN/m}^2 = 488,436 \text{ kg/m}^2$
 - $q_L = 488,436 \times 0,14$
 - $\quad \quad \quad = 68,381 \text{ kg/m'}$
 - $\quad \quad \quad = 0,684 \text{ kg/cm'}$
 - Beban terpusat (SNI 1727:2013, Pasal 4.5.4)
 - $P_L = 1,33 \text{ kN} = 135,62 \text{ kg}$
- Momen
 - Momen akibat beban mati
 - $M_D = \frac{1}{8} \cdot q_D \cdot L^2$

$$= \frac{1}{8} \cdot 10,12 \cdot (1,3)^2$$

$$= 2,137 \text{ kg.m}$$

- Momen akibat beban hidup merata

$$M_L = \frac{1}{8} \cdot q_L \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 68,381 \cdot (1,3)^2$$

$$= 14,446 \text{ kg.m}$$

- Momen akibat beban hidup terpusat

$$M_L = \frac{1}{4} \cdot P_L \cdot L$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 135,62 \cdot 1,3$$

$$= 44,077 \text{ kg.m}$$

→ menentukan

- Momen terfaktor

$$M_u = 1,2 M_D + 1,6 M_L$$

$$= 1,2 (2,137) + 1,6 (44,077)$$

$$= 73,087 \text{ kg.m}$$

- Geser terfaktor

$$V_u = 1,2 \left(\frac{1}{2} \cdot q_D \cdot L \right) + 1,6 \left(\frac{1}{2} \cdot P \cdot 2 \right)$$

$$= 1,2 \left(\frac{1}{2} \cdot 10,12 \cdot 1,3 \right) + 1,6 \left(\frac{1}{2} \cdot 135,62 \cdot 2 \right)$$

$$= 224,882 \text{ kg}$$

- b. Kontrol lendutan pengaku (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

$$L = 130 \text{ cm}$$

- Lendutan ijin

$$\delta_{ijin} = \frac{L}{240}$$

$$= \frac{130}{240}$$

$$= 0,542 \text{ cm}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati merata

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{qD.L^4}{E.Ix} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{0,101.(130)^4}{(2 \times 10^6).11} \\ &= 0,017 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup merata

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{qL.L^4}{E.Ix} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{0,684.(130)^4}{(2 \times 10^6).11} \\ &= 0,116 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup terpusat

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{P_L.L^3}{48.E.Ix} \\ &= \frac{135,62.(130)^3}{48.(2 \times 10^6).11} \\ &= 0,282 \text{ cm}\end{aligned}$$

→ menentukan

- Syarat lendutan

$$\begin{aligned}\delta &< \delta_{ijin} \\ \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} &< 0,542 \text{ cm} \\ \sqrt{(0,017 + 0,282)^2 + 0^2} &< 0,542 \text{ cm} \\ 0,299 \text{ cm} &< 0,542 \text{ cm}\end{aligned}$$

→ OK

c. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\begin{aligned}\frac{h}{tw} &< 260 \\ \frac{50-5}{5} &< 260 \\ 9 &< 260\end{aligned}$$

→ OK

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\begin{aligned} \frac{h}{tw} &< 1,1 \sqrt{\frac{kv.E}{F_y}} \\ \frac{50-5}{5} &< 1,1 \sqrt{\frac{5.(2 \times 10^5)}{250}} \\ 9 &< 69,57 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6.F_y.A_w.C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (50 \times 5) \cdot 1 \\ &= 37500 \text{ N} \\ &= 3750 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 224,882 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 3750 \text{ kg} \\ 224,882 \text{ kg} &< 3375 \text{ kg} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- d. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{50}{5} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 10 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} Z_x &= \left[(tfxd) \frac{1}{2} d \right] + \left[(tf(b-tf)) \frac{1}{2} tw \right] \\ &= \left[(0,5 \times 5) \frac{1}{2} \cdot 5 \right] + \left[(0,5(5-0,5)) \frac{1}{2} \cdot 0,5 \right] \\ &= 6,813 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x.F_y \\ &= 6,813 \cdot 2500 \end{aligned}$$

$$= 17031 \text{ kg.cm}$$

$$= 170,31 \text{ kg.m}$$

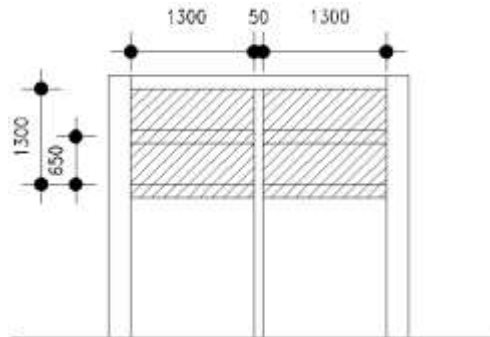
- Syarat kuat lentur

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$73,087 \text{ kg.m} \leq 0,9 \cdot 170,31 \text{ kg.m}$$

$$73,087 \text{ kg.m} < 153,281 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}$$

4.4.4 Perencanaan Bordes



Gambar 4. 22 Denah Bordes

1. Pelat bordes

Direncanakan tebal pelat bordes 7 mm.

Diketahui: panjang injakan = 1,3 m

a. Pembebanan pada pelat anak tangga

- Beban mati

$$\text{- Berat pelat} = 0,007 \times 1,3 \times 7850 = 71,435 \text{ kg/m'}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat sambungan, dll (10\%)} &= \frac{7,144 \text{ kg/m'}}{100} \times 100 \\ q_D &= 78,579 \text{ kg/m'} \\ &= 0,786 \text{ kg/cm'} \end{aligned}$$

- Beban hidup

- Beban merata (SNI 1727:2013, Tabel 4-1)

$$q_L = 4,79 \text{ kN/m}^2 = 488,436 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_L &= 488,436 \times 1,3 \\ &= 634,967 \text{ kg/m'} \end{aligned}$$

$$= 6,35 \text{ kg/cm'}$$

- Momen

- Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned} M_D &= \frac{1}{8} \cdot q_D \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 78,579 \cdot (1,3)^2 \\ &= 16,6 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Momen akibat beban hidup merata

$$\begin{aligned} M_L &= \frac{1}{8} \cdot q_L \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 634,967 \cdot (1,3)^2 \\ &= 134,137 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Momen terfaktor

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 M_D + 1,6 M_L \\ &= 1,2 (16,6) + 1,6 (134,137) \\ &= 234,539 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

b. Kontrol lendutan pelat (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

$$L = 65 \text{ cm}$$

- Momen inersia

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 130 \cdot 0,7^3 \\ &= 3,716 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{240} \\ &= \frac{65}{240} \\ &= 0,271 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{q D L^4}{E I x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{0,786 \cdot (65)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 3,716} \\ &= 0,025 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{q L L^4}{E I x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{6,35 \cdot (65)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 3,716} \\ &= 0,199 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan

$$\begin{aligned}\delta &< \delta_{ijin} \\ \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} &< 0,271 \text{ cm} \\ \sqrt{(0,025 + 0,199)^2 + 0^2} &< 0,271 \text{ cm} \\ 0,223 \text{ cm} &< 0,271 \text{ cm}\end{aligned}$$

→ OK

c. Kontrol kekuatan lentur pelat

- Modulus penampang plastis

$$\begin{aligned}Z_x &= \frac{1}{4} x b x h^2 \\ &= \frac{1}{4} x 130 x 0,7^2 \\ &= 15,93 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

- Kekuatan lentur pelat

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \cdot Z_x \cdot F_y \\ &= 0,9 \cdot 15,93 \cdot 2500 \\ &= 35831 \text{ kg.cm} \\ &= 358,31 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

- Syarat kekuatan lentur

$$\begin{aligned}M_u &\leq \phi M_n \\ 234,539 \text{ kg.m} &< 358,31 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

2. Balok pengaku bordes

Direncanakan balok menggunakan profil WF 100x50x5x7.

$$W = 9,3 \text{ kg/m} \quad Z_x = 41,8 \text{ cm}^3 \quad r = 8 \text{ mm}$$

$$A = 17,85 \text{ cm}^2 \quad Z_y = 9,288 \text{ cm}^3 \quad S_x = 37,5 \text{ cm}^3$$

$$t_w = 5 \text{ mm} \quad i_x = 3,98 \text{ cm} \quad S_y = 5,91 \text{ cm}^3$$

$$t_f = 7 \text{ mm} \quad i_y = 1,12 \text{ cm}$$

$$d = 100 \text{ mm} \quad I_x = 187 \text{ cm}^4$$

$$b_f = 50 \text{ mm} \quad I_y = 14,8 \text{ cm}^4$$

$$h_w = 100 - (2 \times (7 + 18)) = 70 \text{ mm}$$

$$h_o = 100 - 7 = 93 \text{ mm}$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \times 70 \times 5^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 50 \times 7^3 \right)$$

$$= 14350 \text{ mm}^4$$

Diketahui: lebar bordes = 1,3 m

a. Pembebanan pada balok pengaku bordes

• Beban mati

$$\text{- Berat pelat} = 0,007 \times 0,65 \times 7850 = 35,718 \text{ kg/m'}$$

$$\text{- Berat profil} = 9,3 \text{ kg/m'}$$

$$= 45,018 \text{ kg/m'}$$

$$\text{- Berat sambungan, dll (10\%)} = 4,502 \text{ kg/m'}$$

$$q_D = 49,519 \text{ kg/m'}$$

$$= 0,495 \text{ kg/cm'}$$

• Beban hidup

- Beban merata (SNI 1727:2013, Tabel 4-1)

$$q_L = 4,79 \text{ kN/m}^2 = 488,436 \text{ kg/m}^2$$

$$q_L = 488,436 \times 0,65$$

$$= 317,484 \text{ kg/m'}$$

$$= 3,175 \text{ kg/cm'}$$

• Momen

- Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned} M_D &= \frac{1}{8} \cdot q_D \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 49,519 \cdot (1,3)^2 \\ &= 10,461 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Momen akibat beban hidup

$$\begin{aligned} M_L &= \frac{1}{8} \cdot q_L \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 317,484 \cdot (1,3)^2 \\ &= 67,068 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Momen terfaktor

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 M_D + 1,6 M_L \\ &= 1,2 (10,461) + 1,6 (67,068) \\ &= 119,863 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Geser akibat beban mati

$$\begin{aligned} V_D &= \frac{1}{2} \cdot q_D \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 49,519 \cdot 1,3 \\ &= 32,188 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Geser akibat beban hidup

$$\begin{aligned} V_L &= \frac{1}{2} \cdot q_L \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 317,484 \cdot 1,3 \\ &= 206,364 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Geser terfaktor

$$\begin{aligned} V_u &= 1,2 V_D + 1,6 V_L \\ &= 1,2 (32,188) + 1,6 (206,364) \\ &= 368,808 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- b. Kontrol lendutan balok pengaku bordes (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

$$L = 130 \text{ cm}$$

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned}\delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{240} \\ &= \frac{130}{240} \\ &= 0,542 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\begin{aligned}\delta_x &= \frac{5}{384} x \frac{qD.L^4}{E.I_x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{0,495.(130)^4}{(2 \times 10^6).187} \\ &= 0,005 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\begin{aligned}\delta_x &= \frac{5}{384} x \frac{qL.L^4}{E.I_x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{3,175.(130)^4}{(2 \times 10^6).187} \\ &= 0,032 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan

$$\begin{aligned}\delta &< \delta_{\text{ijin}} \\ \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} &< 0,542 \text{ cm} \\ \sqrt{(0,005 + 0,032)^2 + 0^2} &< 0,542 \text{ cm} \\ 0,036 \text{ cm} &< 0,542 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\begin{aligned}\frac{h}{t_w} &< 260 \\ \frac{93}{5} &< 260 \\ 18,6 &< 260 \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\begin{array}{rcl} \frac{h}{tw} & < & 1,1 \sqrt{\frac{kv.E}{F_y}} \\ \frac{93}{5} & < & 1,1 \sqrt{\frac{5.(2 \times 10^5)}{250}} \\ 18,6 & < & 69,57 \rightarrow \text{OK} \end{array}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6.F_y.A_w.C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (100 \times 5) \cdot 1 \\ &= 75000 \text{ N} \\ &= 7500 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 368,808 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 7500 \text{ kg} \\ 368,808 \text{ kg} &< 6750 \text{ kg} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- d. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{50}{2 \times 7} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 3,571 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{70}{5} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 14 &< 106,35 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 41,8 \cdot 2500 \\ &= 104487,5 \text{ kg.cm} \\ &= 1044,875 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 119,863 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 1044,875 \text{ kg.m} \\ 119,863 \text{ kg.m} &< 940,388 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

4.4.5 Perencanaan Balok Utama Tangga

1. Balok utama tangga

Direncanakan balok menggunakan profil WF 200x100x5,5x8.

$$W = 21,3 \text{ kg/m} \quad Z_x = 200,2 \text{ cm}^3 \quad r = 11 \text{ mm}$$

$$A = 27,16 \text{ cm}^2 \quad Z_y = 41,39 \text{ cm}^3 \quad S_x = 184 \text{ cm}^3$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm} \quad i_x = 8,24 \text{ cm} \quad S_y = 26,8 \text{ cm}^3$$

$$t_f = 8 \text{ mm} \quad i_y = 2,22 \text{ cm}$$

$$d = 200 \text{ mm} \quad I_x = 1840 \text{ cm}^4$$

$$b_f = 100 \text{ mm} \quad I_y = 134 \text{ cm}^4$$

$$h_w = 200 - (2 \times (8 + 11)) = 162 \text{ mm}$$

$$h_o = 200 - 8 = 192 \text{ mm}$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \times 162 \times 5,5^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 100 \times 8^3 \right)$$

$$= 43118 \text{ mm}^4$$

$$\text{Diketahui: tebal pelat tangga} = 4 \text{ mm}$$

$$\text{panjang bordes} = 1,3 \text{ m}$$

$$\text{setengah panjang bordes} = 0,65 \text{ m}$$

$$\text{lebar injakan} = 28 \text{ cm}$$

$$\text{tinggi injakan} = 20 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{lebar injakan miring} &= \sqrt{28^2 + 20^2} \\ &= 34,409 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang balok miring} &= \sqrt{3,36^2 + 2,4^2} \\ &= 4,129 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{berat profil siku} = 3,77 \text{ kg/m'}$$

a. Pembebanan pada balok utama tangga

• Beban mati akibat anak tangga

$$\text{- Berat pelat} = 0,004 \times 0,65 \times 7850 = 20,41 \text{ kg/m'}$$

$$\text{- Berat profil siku}$$

$$\frac{3,77 \times 2 \times 1 \times 0,65}{4,129} = 13,057 \text{ kg/m'}$$

$$\text{- berat sendiri balok} = \frac{21,3}{\cos 35,54^\circ} = 26,176 \text{ kg/m'}$$

$$= 59,643 \text{ kg/m'}$$

$$\begin{aligned} \text{- Berat sambungan, dll (10\%)} &= 5,964 \text{ kg/m' } + \\ q_D &= 65,607 \text{ kg/m' } \\ &= 0,656 \text{ kg/cm' } \end{aligned}$$

• Beban hidup akibat anak tangga

$$\text{- Beban merata (SNI 1727:2013, Tabel 4-1)}$$

$$q_L = 4,79 \text{ kN/m}^2 = 488,436 \text{ kg/m}^2$$

$$q_L = 488,436 \times 0,65$$

$$= 317,484 \text{ kg/m'}$$

$$= 3,175 \text{ kg/cm'}$$

$$\text{- Beban terpusat (SNI 1727:2013, Pasal 4.5.4)}$$

$$P_L = 1,33 \text{ kN} = 135,62 \text{ kg}$$

• Beban mati akibat bordes

$$\text{- Berat pelat}$$

$$0,007 \times 0,65 \times 0,65 \times 7850 = 35,72 \text{ kg}$$

$$\text{- Berat profil balok pengaku bordes}$$

$$\begin{aligned} 9,3 \times 0,65 &= 6,045 \text{ kg} \\ &+ \\ &= 41,763 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{- Berat sambungan, dll (10\%)} = 4,176 \text{ kg} +$$

$$P_{D2} = 45,939 \text{ kg}$$

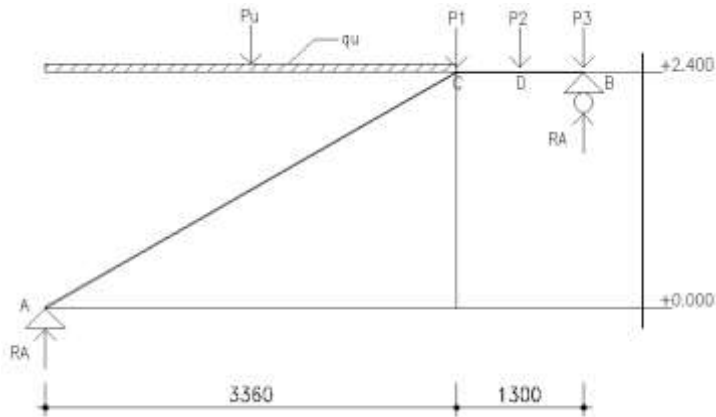
$$P_{D1} = P_{D3} = 22,97 \text{ kg}$$

• Beban hidup akibat bordes

$$\text{- Beban merata (SNI 1727:2013, Tabel 4-1)}$$

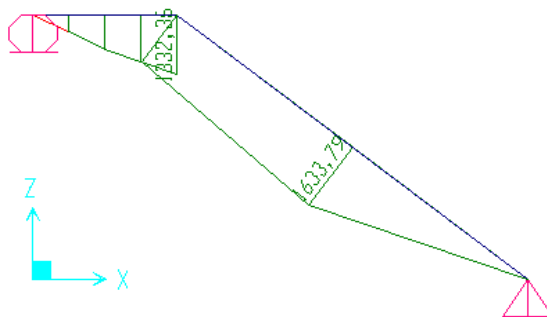
$$q_L = 4,79 \text{ kN/m}^2 = 488,436 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_{L2} &= 488,436 \times 0,65 \times 0,65 \\
 &= 206,364 \text{ kg} \\
 P_{L1} &= P_{L3} = 103,182 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

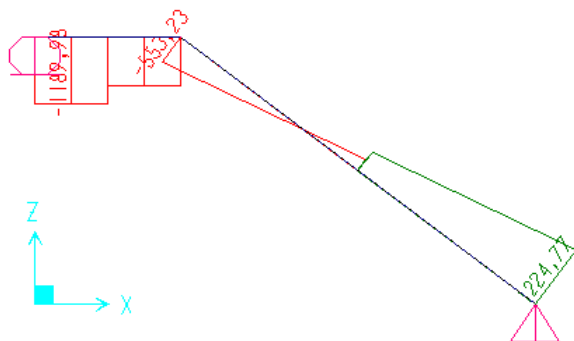


Gambar 4. 23 Sketsa Pembebanan pada Balok Utama

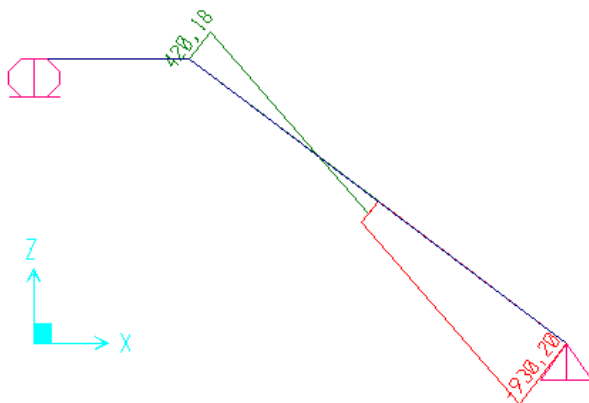
Dengan menggunakan program bantu SAP 2000 v14.0.0 didapatkan gaya dalam sebagai berikut:



Gambar 4. 24 Diagram Momen (M) Balok Utama Tangga



Gambar 4. 25 Diagram Gaya Geser (V) Balok Utama Tangga



Gambar 4. 26 Diagram Gaya Aksial (N) Balok Utama Tangga

$$M_u = 1633,79 \text{ kg.m}$$

$$V_u = 1224,77 \text{ kg}$$

$$N_u = 930,2 \text{ kg}$$

- b. Kontrol lendutan balok pengaku bordes (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

$$L = \sqrt{3,36^2 + 2,4^2}$$

$$= 4,129 \text{ m} = 412,9 \text{ cm}$$

- Lendutan ijin

$$\delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{360}$$

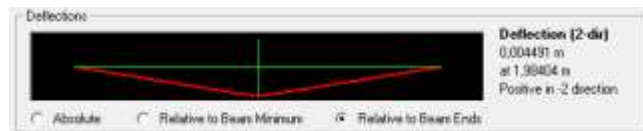
$$= \frac{412,9}{360}$$

$$= 1,147 \text{ cm}$$

- Lendutan yang terjadi

Lendutan yang terjadi didapatkan dari program bantu SAP 2000 v.14.0.0 berdasarkan kombinasi 1D+1L.

$$\delta = 0,00449 \text{ m} = 0,449 \text{ cm}$$



Gambar 4. 27 Lendutan yang Terjadi pada Balok Utama Tangga

- Syarat lendutan

$$\delta < \delta_{\text{ijin}}$$

$$0,449 \text{ cm} < 1,147 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}$$

- c. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\frac{h}{tw} < 260$$

$$\frac{162}{5,5} < 260$$

$$29,5 < 260 \quad \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\begin{array}{rcl} \frac{h}{tw} & < & 1,1 \sqrt{\frac{kv.E}{F_y}} \\ \frac{162}{5,5} & < & 1,1 \sqrt{\frac{5.(2 \times 10^5)}{250}} \\ 29,5 & < & 69,57 \rightarrow \text{OK} \end{array}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6.F_y.A_w.C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (200 \times 5,5) \cdot 1 \\ &= 165000 \text{ N} \\ &= 16500 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 1224,77 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 16500 \text{ kg} \\ 1224,77 \text{ kg} &< 14850 \text{ kg} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- d. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{array}{rcl} \lambda & < & \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} & < & 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{100}{2 \times 8} & < & 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 6,25 & < & 10,748 \end{array}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{array}{rcl} \lambda & < & \lambda_p \\ \frac{h}{tw} & < & 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{162}{5,5} & < & 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 29,455 & < & 106,35 \end{array}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 200,15 \cdot 2500 \\ &= 500380 \text{ kg.cm} \\ &= 5003,8 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 1633,79 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 5003,8 \text{ kg.m} \\ 1633,79 \text{ kg.m} &< 4503,42 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$\begin{aligned} L_b &= \text{lebar injakan miring} \\ &= 34,409 \text{ cm (pengaku siku pada anak tangga)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,76 \times 2,22 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\ &= 110,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_b &< L_p \\ 34,409 \text{ cm} &< 223 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dikarenakan $L_b < L_p$, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 200,15 \cdot 2500 \\ &= 500380 \text{ kg.cm} \\ &= 5003,8 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 1633,79 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 5003,8 \text{ kg.m} \\ 1633,79 \text{ kg.m} &< 4503,42 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- f. Persamaan interaksi tekan-lentur

$$L = \sqrt{3,36^2 + 2,4^2}$$

$$= 4,129 \text{ m} = 412,9 \text{ cm}$$

$$Kc = 2 \text{ (sendi-rol)}$$

$$Fe = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left[\frac{K \cdot L}{r} \right]^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot (2 \times 10^6)}{\left[\frac{2.412,9}{2,22} \right]^2}$$

$$= 142,502 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{Fy}{Fe} = \frac{2500}{142,502} = 17,54$$

Dikarenakan $\frac{Fy}{Fe} > 2,25$, maka:

$$\begin{aligned} Fcr &= 0,877 Fe \\ &= 0,877 \cdot 142,502 \\ &= 124,974 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nn &= Ag \times Fcr \\ &= 27,16 \times 124,974 \\ &= 3394,301 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Nn &= 0,85 \times 3394,301 \text{ kg} \\ &= 2885,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

• Kontrol persamaan interaksi

$$\frac{Nu}{\phi Nn} < 0,2$$

$$\frac{930,2}{2885,2} < 0,2$$

$$0,322 > 0,2 \text{ maka}$$

$$\frac{Nu}{\phi Nn} + \frac{8}{9} \left[\frac{Mux}{\phi b \cdot Mnx} + \frac{Muy}{\phi b \cdot Mny} \right] \leq 1$$

$$0,322 + \frac{8}{9} \left[\frac{1633,79}{0,9 \cdot 5003,8} + 0 \right] \leq 1$$

$$0,645 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

4.4.6 Perencanaan Balok Penumpu Bordes

Direncanakan balok menggunakan profil WF 200x100x5,5x8.

$$W = 21,3 \text{ kg/m} \quad Z_x = 200,2 \text{ cm}^3 \quad r = 11 \text{ mm}$$

$$A = 27,16 \text{ cm}^2 \quad Z_y = 41,39 \text{ cm}^3 \quad S_x = 184 \text{ cm}^3$$

$$t_w = 5,5 \text{ mm} \quad i_x = 8,24 \text{ cm} \quad S_y = 26,8 \text{ cm}^3$$

$$t_f = 8 \text{ mm} \quad i_y = 2,22 \text{ cm}$$

$$d = 200 \text{ mm} \quad I_x = 1840 \text{ cm}^4$$

$$b_f = 100 \text{ mm} \quad I_y = 134 \text{ cm}^4$$

$$h_w = 200 - (2 \times (8 + 11)) = 162 \text{ mm}$$

$$h_o = 200 - 8 = 192 \text{ mm}$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \times 162 \times 5,5^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 100 \times 8^3 \right)$$

$$= 43118 \text{ mm}^4$$

Diketahui: Tebal pelat tangga = 4 mm = 0,4 cm

Tebal pelat bordes = 7 mm = 0,7 cm

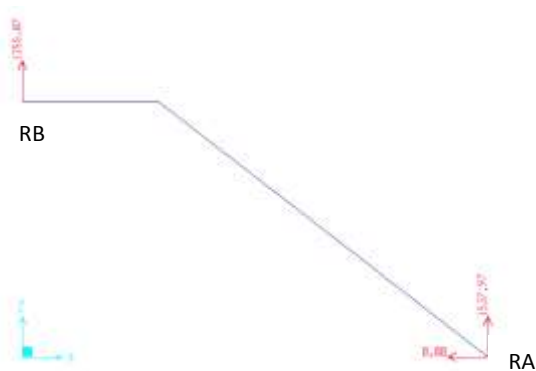
Panjang anak tangga = 1,3 m = 130 cm

Panjang setengah anak tangga = 0,65 m = 65 cm

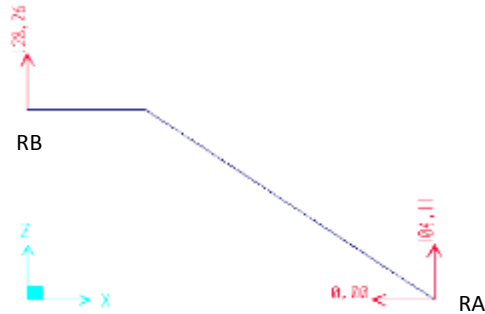
Lebar bordes = 1,3 m = 130 cm

Lebar setengah bordes = 0,65 m = 65 cm

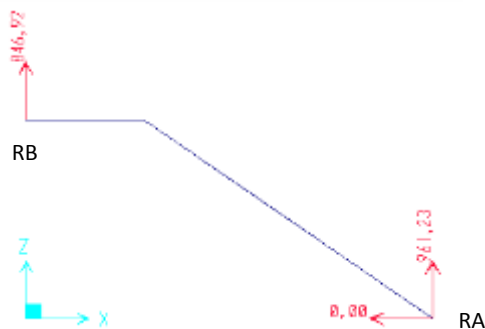
Dengan menggunakan program bantu SAP 2000 v14.0.0 didapatkan gaya dalam sebagai berikut:



Gambar 4. 28 Reaksi Akibat Kombinasi Beban 1,2D+1,6L



Gambar 4. 29 Reaksi Akibat Beban Mati



Gambar 4. 30 Reaksi Akibat Beban Hidup

a. Pembebanan pada balok penumpu bordes

Beban yang digunakan pada balok penumpu bordes adalah beban merata yang berasal dari reaksi pada balok utama tangga (RB).

RB akibat beban mati = 128,26 kg

RB akibat beban hidup = 846,92 kg

RB akibat kombinasi beban $1,2D+1,6L = 1355,07$ kg

Sehingga beban merata:

- Beban mati:

$$qD = \frac{RB}{L}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{128,26}{2,8} \\
 &= 45,807 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,458 \text{ kg/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Beban hidup:

$$\begin{aligned}
 qL &= \frac{RB}{L} \\
 &= \frac{846,92}{2,8} \\
 &= 302,471 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 3,025 \text{ kg/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Beban merata terfaktor:

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 qD + 1,6 qL \\
 &= (1,2 \cdot 45,807) + (1,6 \cdot 302,471) \\
 &= 538,923 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 5,389 \text{ kg/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Momen terfaktor:

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 538,923 \cdot (2,8)^2 \\
 &= 528,144 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- b. Kontrol lendutan balok pengaku bordes (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

$$L = 280 \text{ cm}$$

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{240} \\
 &= \frac{280}{360} \\
 &= 0,778 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

- Lendutan arah x akibat beban mati

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{q D L^4}{E I x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{0,458 \cdot (280)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 1840} \\ &= 0,01 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan arah x akibat beban hidup

$$\begin{aligned}\delta x &= \frac{5}{384} x \frac{q L L^4}{E I x} \\ &= \frac{5}{384} x \frac{3,025 \cdot (280)^4}{(2 \times 10^6) \cdot 1840} \\ &= 0,066 \text{ cm}\end{aligned}$$

• Syarat lendutan

$$\begin{aligned}\delta &< \delta_{ijin} \\ \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2} &< 0,778 \text{ cm} \\ \sqrt{(0,01 + 0,066)^2 + 0^2} &< 0,778 \text{ cm} \\ 0,076 \text{ cm} &< 0,778 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

$$\begin{aligned}V_u &= R_B \\ &= 1355,07 \text{ kg}\end{aligned}$$

• Badan tanpa pengaku transversal

$$\begin{aligned}\frac{h}{t_w} &< 260 \\ \frac{162}{5,5} &< 260 \\ 29,45 &< 260 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\begin{aligned}\frac{h}{t_w} &< 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ \frac{162}{5,5} &< 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot (2 \times 10^5)}{250}} \\ 29,45 &< 69,57 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (200 \times 5,5) \cdot 1 \\ &= 165000 \text{ N} \\ &= 16500 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 1355,07 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 16500 \text{ kg} \\ 1355,07 \text{ kg} &< 14850 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- d. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{100}{2 \times 8} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 6,25 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{162}{5,5} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 29,45 &< 106,35 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 200,15 \cdot 2500 \\ &= 500380 \text{ kg.cm} \\ &= 5003,8 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi M_n \\
 528,144 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 5003,8 \text{ kg.m} \\
 528,144 \text{ kg.m} &< 4503,42 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- e. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$L_b = 130 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 1,76 \times 22,22 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\
 &= 110,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_b &< L_p \\
 130 \text{ cm} &> 110,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $L_p < L_b < L_r$, maka

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right]$$

$$\begin{aligned}
 r_{ts} &= \frac{b_f}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{h \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} \right)}} \\
 &= \frac{100}{\sqrt{12 \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{162,6}{100,8} \right)}} \\
 &= 26,51 \text{ mm} = 2,651 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= 1,95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 F_y} \cdot \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E} \right)^2}} \\
 &= 1,95 \times 2,651 \times \frac{2 \times 10^6}{0,7 \cdot 2500} \times \sqrt{\frac{4,312,1}{184,19,2} + \sqrt{\left(\frac{4,312,1}{184,19,2} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \cdot 2500}{2 \times 10^6} \right)^2}} \\
 &= 364,317 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 538,923 \cdot (1,3)^2$$

$$= 113,847 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{1}{4}$ bentang:

$$M_A = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{8} \cdot 538,923 \cdot (1,3)^2$$

$$= 85,386 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{1}{2}$ bentang:

$$M_B = M_{\max}$$

$$= 113,847 \text{ kg.m}$$

Momen pada $\frac{3}{4}$ bentang:

$$M_C = M_A$$

$$= 85,386 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \\ &= \frac{12,5 \times 113,847}{2,5 \times 113,847 + 3 \times 85,386 + 4 \times 113,847 + 3 \times 85,386} \\ &= 1,136 \end{aligned}$$

- Momen lentur plastis

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \cdot F_y \\ &= 200,15 \cdot 2500 \\ &= 500380 \text{ kg.cm} \\ &= 5003,8 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Momen lentur nominal

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\ &= 1,136 \left[500380 - (500380 - 0,7 \cdot 2500 \cdot 184) \cdot \left(\frac{130 - 110,5}{364,317 - 110,5} \right) \right] \\ &= 553049,6 \text{ kg.cm} \\ &= 5530,496 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 528,14 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 5530,496 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$528,14 \text{ kg.m} < 4977,446 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}$$

4.4.7 Perencanaan Kolom Penumpu Bordes

Direncanakan kolom menggunakan profil WF 100x100x6x8.

$$W = 17,2 \text{ kg/m} \quad Z_x = 84,2 \text{ cm}^3 \quad r = 10 \text{ mm}$$

$$A = 21,9 \text{ cm}^2 \quad Z_y = 40,76 \text{ cm}^3 \quad S_x = 76,5 \text{ cm}^3$$

$$t_w = 6 \text{ mm} \quad i_x = 4,18 \text{ cm} \quad S_y = 26,7 \text{ cm}^3$$

$$t_f = 8 \text{ mm} \quad i_y = 2,47 \text{ cm}$$

$$d = 100 \text{ mm} \quad I_x = 383 \text{ cm}^4$$

$$b_f = 100 \text{ mm} \quad I_y = 134 \text{ cm}^4$$

$$h_w = 100 - (2 \times (8 + 10)) = 64 \text{ mm}$$

$$h_o = 100 - 8 = 92 \text{ mm} = 9,2 \text{ cm}$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \times 64 \times 6^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 100 \times 8^3 \right)$$

$$= 38741 \text{ mm}^4 = 3,874 \text{ cm}^4$$

$$\text{Diketahui: Tinggi kolom} = 4,8 \text{ m} = 480 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi bordes} = 2,4 \text{ m} = 240 \text{ cm}$$

a. Pembebanan pada kolom penumpu bordes

Beban yang digunakan pada kolom penumpu bordes adalah beban terpusat yang berasal dari reaksi pada balok utama tangga (RB) dan diperoleh dari program bantu SAP 2000 v.14.0.0.

$$\text{RB} = 128,26 \text{ kg} \quad (\text{akibat beban mati})$$

$$\text{RB} = 846,92 \text{ kg} \quad (\text{akibat beban hidup})$$

$$\text{RB} = 1355,07 \text{ kg} \quad (\text{akibat kombinasi beban } 1,2D+1,6L)$$

b. Kontrol Tekuk Lentur

• Parameter kelangsingan (λ_c)

Arah x

$$k_x = 1 \text{ (sendi-sendi)} \quad L = 4,8 \text{ m}$$

$$L_{kx} = k_x \cdot L$$

$$= 1 \cdot 4,8$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,8 \text{ m} \\
 &= 480 \text{ cm} \\
 \lambda_x &= \frac{Lk_x}{i_x} \\
 &= \frac{480}{4,18} \\
 &= 114,8
 \end{aligned}$$

Arah y

$$k_y = 1 \text{ (sendi-sendu)} \quad L = 2,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 L_{ky} &= k_y \cdot L \\
 &= 1 \cdot 2,4 \\
 &= 2,4 \text{ m} \\
 &= 240 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_y &= \frac{L_{ky}}{i_y} \\
 &= \frac{240}{2,47} \\
 &= 97,17
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $\lambda_x > \lambda_y$ maka $\lambda = \lambda_x = 114,8$, sehingga:

$$\begin{aligned}
 \lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\
 &= \frac{114,8}{\pi} \sqrt{\frac{250}{2 \times 10^5}} \\
 &= 1,293
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \rightarrow \omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \\
 &= \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot 1,293)} \\
 &= 1,949
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\
 &= \frac{F_y}{\omega} \cdot A_g \\
 &= \frac{2500}{1,949} \cdot 21,9 \\
 &= 28091,21 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P_u = R_B$$

$$\begin{aligned}
 &= 1355,07 \text{ kg} \\
 P_u &\leq \phi P_n \\
 1355,07 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 28091,21 \text{ kg} \\
 1355,07 \text{ kg} &< 25282,085 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol Penampang

• Sayap (flange)

$$\begin{aligned}
 \lambda &< \lambda_p \\
 \frac{bf}{2tf} &< \frac{250}{\sqrt{f_y}} \\
 \frac{100}{2 \times 8} &< \frac{250}{\sqrt{250}} \\
 6,25 &< 15,811
 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang non langsing

• Badan (web)

$$\begin{aligned}
 \lambda &< \lambda_p \\
 \frac{h}{tw} &< \frac{665}{\sqrt{f_y}} \\
 \frac{64}{6} &< \frac{665}{\sqrt{250}} \\
 10,67 &< 42,058
 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang non langsing

Arah x

$$k_x = 1 \text{ (sendi-sendu)} \quad L = 4,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 L_{kx} &= k_x \cdot L \\
 &= 1 \cdot 4,8 \\
 &= 4,8 \text{ m} \\
 &= 480 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_x &= \frac{L_{kx}}{i_x} \\
 &= \frac{480}{4,18} \\
 &= 114,8
 \end{aligned}$$

Arah y

$$k_y = 1 \text{ (sendi-sendu)} \quad L = 2,4 \text{ m}$$

$$L_{ky} = k_y \cdot L$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 \cdot 2,4 \\
 &= 2,4 \text{ m} \\
 &= 240 \text{ cm} \\
 \lambda_y &= \frac{Lk_y}{i_y} \\
 &= \frac{240}{2,47} \\
 &= 97,17
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $\lambda_x > \lambda_y$ maka $\lambda = \lambda_x = 114,8$, sehingga:

- Tegangan tekuk kritis elastis

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{r} \right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \cdot (2 \times 10^6)}{114,8^2} \\
 &= 1495,407 \text{ kg/cm}^2 \\
 \frac{Lk}{i} &\leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 114,8 &\leq 4,71 \sqrt{\frac{(2 \times 10^6)}{2500}} \\
 114,8 &< 133,22
 \end{aligned}$$

Maka tegangan kritisnya adalah:

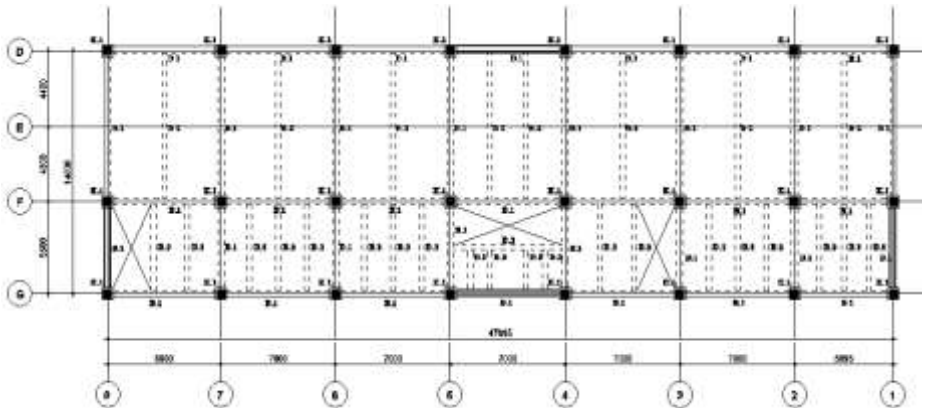
$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \left[0,685^{\frac{f_y}{f_e}} \right] \cdot f_y \\
 &= \left[0,685^{\frac{2500}{1495,407}} \right] \cdot 2500 \\
 &= 1328,158 \text{ kg/cm}^2 \\
 P_n &= F_{cr} \cdot A_g \\
 &= 1328,158 \cdot 21,9 \\
 &= 29086,67 \text{ kg} \\
 P_u &= R_B
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl}
 & = 1355,07 \text{ kg} & \\
 \text{Pu} & \leq \phi \text{Pn} & \\
 1355,07 \text{ kg} & \leq 0,9 \cdot 29086,67 \text{ kg} & \\
 1355,07 \text{ kg} & < 26178 \text{ kg} & \rightarrow \text{OK}
 \end{array}$$

BAB V PERMODELAN STRUKTUR

5.1 Permodelan Struktur

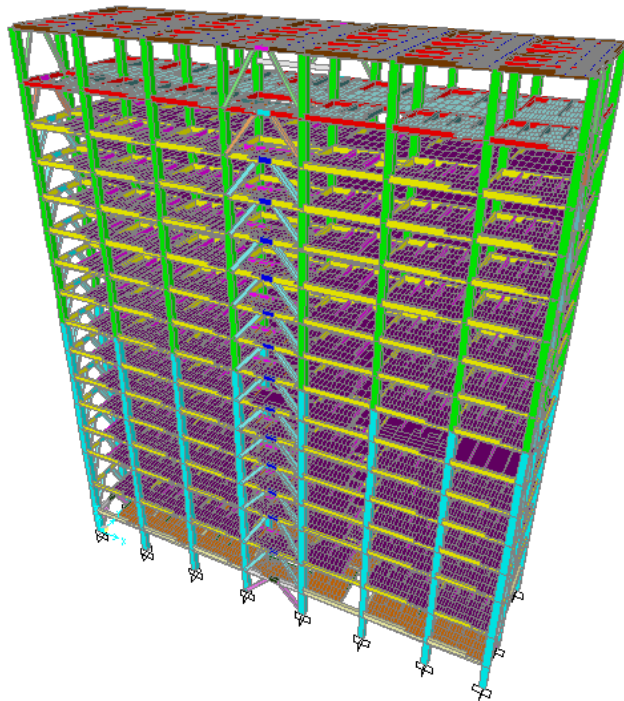
Pemodelan struktur pada tugas akhir ini menggunakan sistem rangka bresing eksentrik (SRBE). Sistem struktur ini berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi akibat gempa. Struktur yang direncanakan adalah bangunan hotel yang terdiri dari 16 lantai dengan total tinggi struktur 58,25 meter. Denah dari struktur yang ada dalam permodelan tugas akhir penulis adalah sebagai berikut:



Gambar 5. 1 Denah Struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya

Pada gambar 5.1 arah vertikal mengikuti arah sumbu Y dan sumbu X adalah arah horizontal gambar. Bresing yang dipergunakan pada tugas akhir ini adalah tipe bresing eksentrik dengan konfigurasi *inverted v*. Permodelan struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya dilakukan menggunakan program bantu SAP 2000 v14. Program ini akan membantu dalam beberapa perhitungan yang akan digunakan untuk mengecek apakah struktur sudah

memenuhi persyaratan yang ada di SNI 1726:2012 dan SNI 1729:2015.



Gambar 5. 2 Permodelan 3 Dimensi Struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya

5.2 Pembebanan pada Struktur Utama

Pembebanan struktur didasarkan pada SNI 1727:2013 dan ASCE 7-2002 (Pembebanan) dengan rincian sebagai berikut :

1. Beban mati (*dead load*)

Beban mati adalah seluruh bagian bangunan yang bersifat tetap yang tidak terpisahkan dari bangunan selama masa layannya. Beban mati pada struktur terdiri

dari berat sendiri bangunan (yang didapat dari program bantu SAP 2000) dan beban mati tambahan. Beban mati yang dihitung pada struktur ini antara lain:

- Berat sendiri beton bertulang yang memiliki massa jenis sebesar 2400 kg/m^3 .
- Berat pelat bondek sebesar $10,1 \text{ kg/m}^2$.
- Berat sendiri baja profil yang terpasang sebagai struktur rangka baja berupa kolom, balok, bresing, dan link dengan massa jenis sebesar 7850 kg/m^3 .
- Beban dinding bata ringan sebesar 75 kg/m^2 .
- Beban spesi sebesar 21 kg/m^2 untuk setiap ketebalan 1 cm.
- Beban *ducting plumbing* yang ditetapkan sebesar $19,5 \text{ kg/m}^2$.
- Beban plafond dan penggantung sebesar 18 kg/m^2 .
- Beban lift adalah beban terpusat pada balok penumpu dan pembagi lift. Besar beban lift terlampir.

2. Beban hidup (*live load*)

Beban hidup adalah beban yang bertumpu pada bangunan yang memiliki kemungkinan untuk lepas dari bangunan tersebut. Beban hidup sudah termasuk perlengkapan ruangan. Rincian pembebanan untuk beban hidup adalah sebagai berikut :

- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| a. Lantai atap | $= 97,64 \text{ kg/m}^2$ |
| b. Lantai hotel | $= 195,28 \text{ kg/m}^2$ |
| c. Lantai koridor atau lobi | $= 487,18 \text{ kg/m}^2$ |

3. Beban gempa (*earthquake load*)

Perhitungan beban gempa pada bangunan ini dilakukan dengan menganalisa beban gempa dinamis dengan periode ulang 1000 tahun. Untuk parameter gempa yang digunakan diambil dari website dinas Pekerjaan Umum dengan lokasi input berada di Surabaya.

5.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktifitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1726:2012 adalah sebagai berikut:

- $1 D + 1 L$
- $1,4 D$
- $1,2 D + 1,6 L$
- $1,2 D + 1 L$
- $1,2 D + 1E_x + 1 L$
- $1,2 D + 1E_y + 1 L$
- $0,9 D + E_x$
- $0,9 D + E_y$

Keterangan:

D : beban mati

L : beban hidup lantai

E : beban gempa yang dinyatakan dalam arah X dan Y

5.4 Pembebanan Gempa Dinamis

Pada struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya ini mempunyai jumlah lantai 16 tingkat dengan ketinggian 58.25 m. Perhitungan beban gempa pada struktur ini ditinjau dengan pengaruh gempa dinamis sesuai SNI 1726:2012.

Analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respon dinamis dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

5.4.1 Penentuan Klasifikasi Situs

Penentuan jenis tanah untuk peninjauan gempa adalah data tanah pada lapisan setebal maksimum 30 m paling atas sesuai SNI 1726:2012.

Tabel 5. 1 Hasil Data Tanah Berdasarkan N-SPT

Lapisan Ke- <i>i</i>	Tebal Lapisan (<i>di</i>) (<i>m</i>)	Deskripsi Jenis Tanah	Nilai N-SPT	di/N
1	2	Lempung Berlanau, Keabu-abuan, Lunak	2	1
2	6	Lempung Berlanau, Abu-abu, Sangat Lunak	1	6
3	0,5	Pasir, Abu-abu, Butiran Sedang	1	0,5
4	3,5	Lempung Berlanau, Abu-abu, Sangat Lunak	6,5	0,538
5	2	Pasir dan Lanau, Abu-abu, Sedikit Lempung	15,67	0,128
6	10,5	Lempung Berlanau, Kecokelatan, Keras	24,6	0,427
7	6,5	Lempung Berpasir, Kecokelatan	46,0	0,141
Total	31		96,738	8,735

Berdasarkan hasil dari tabel tersebut maka nilai \bar{N} adalah:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{Ni}} < 15$$

$$\bar{N} = \frac{31}{8,735} < 15$$

$$\bar{N} = 3,55 < 15$$

Dikarenakan nilai $\bar{N} < 15$, maka jenis tanahnya termasuk tanah lunak.

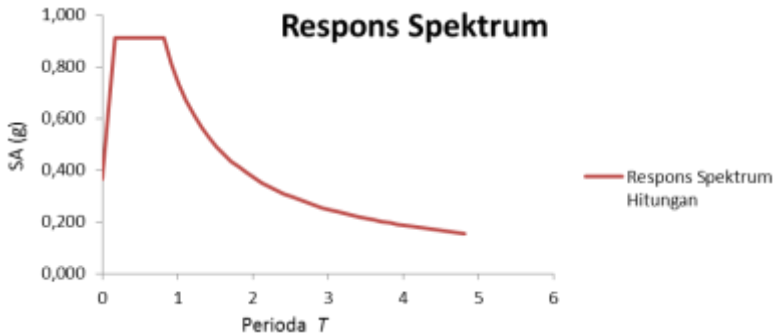
5.4.2 Parameter respon spektrum rencana

Parameter respon spektrum rencana digunakan untuk menentukan gaya gempa rencana yang bekerja pada struktur. Berikut adalah nilai parameter respon spektrum untuk wilayah Surabaya dengan kondisi tanah lunak (kelas situs SE).

Tabel 5. 2 Parameter Respon Gempa Wilayah Surabaya untuk Kelas Situs SE (Tanah Lunak)

Variabel	Nilai
PGA (g)	0,4
SS (g)	0,663
S1 (g)	0,248
FA	1,374
FV	3,006
SMS (g)	0,911
SM1 (g)	0,745
T0 (detik)	0,164
TS (detik)	0,818

Dikarenakan periode ulang gempa adalah 1000 tahun maka nilai $SDS = SMS$ sebesar 0,911 dan $SD1 = SM1$ sebesar 0,745.



Gambar 5. 3 Grafik Spektral Percepatan Gempa Wilayah Surabaya dengan Periode Ulang 1000 Tahun

5.4.3 Arah Pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah yang tidak terduga baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang tidak terduga terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X:
100% efektifitas untuk arah X dan 30% efektifitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y:
100% efektifitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

$$\text{Skala faktor 100\%} = 100\% \times g \times \frac{I}{R}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 \times 9,81 \times \frac{1}{8} \\
 &= 1,226 \\
 \text{Skala faktor 30\%} &= 30\% \times g \times \frac{I}{R} \\
 &= 0,3 \times 9,81 \times \frac{1}{8} \\
 &= 0,368
 \end{aligned}$$

5.4.4 Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan dengan sistem rangka bresing eksentrik (SRBE) baja. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 untuk sistem rangka bangunan dengan menggunakan bresing eksentrik didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi (C_d) = 4, dan nilai koefisien modifikasi respons (R) = 8.

5.4.5 Faktor Keutamaan (I)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan gedung apartemen / rumah susun. Pada tabel 1 SNI 1726:2012 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai $I = 1$.

5.5 Kontrol Penerimaan Permodelan Struktur

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000 v14, untuk membuktikan hasil pemodelan struktur sesuai dengan kenyataan aslinya, perlu dilakukan pengecekan menggunakan perhitungan manual. Perhitungan manual dilakukan dengan cara meninjau satu kolom yang menggunakan kombinasi 1D+1L, hasil beban aksial dari analisa SAP 2000 v14 harus sesuai dengan perhitungan berat bangunan manual yang memiliki

toleransi perbedaan 5 %. Adapun kolom yang ditinjau terletak pada as F-6 adalah sebagai berikut:



Gambar 5. 4 Area Pembebanan pada Kolom yang Ditinjau

Rincian pembebanan untuk beban mati adalah:

- Pelat atap = $79,53 \text{ kg/m}^2$
- Pelat lantai hotel = 128 kg/m^2
- Pelat lantai koridor = 128 kg/m^2

Rincian pembebanan untuk beban hidup adalah:

- Pelat atap = $97,64 \text{ kg/m}^2$
- Lantai hotel = $195,28 \text{ kg/m}^2$
- Lantai koridor atau lobi = $487,18 \text{ kg/m}^2$

Berat bangunan manual adalah sebesar 624359,06 kg.

Untuk perhitungan berat bangunan manual selengkapnya terdapat pada lampiran.

Tabel 5. 3 *Output Joint Reaction* dengan Kombinasi Beban 1D+1L pada Kolom As F-6 Menggunakan Program Bantu SAP 2000 v14

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf
1045	1D+1L	Combination	245,64	5764,94	631718

Selisih hasil *output joint reaction* menggunakan program bantu sap 2000 v14 dengan hasil dari perhitungan manual adalah sebagai berikut:

$$631718,01 \text{ kg} - 620045,69 \text{ kg} = 11672,32 \text{ kg}$$

$$\frac{11672,32 \text{ kg}}{631718,01 \text{ kg}} \times 100\% < 5 \%$$

$$1,85 \% < 5 \%$$

Maka permodelan struktur dapat diterima.

5.6 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000 v14, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut :

- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol waktu getar alami fundamental
- Kontrol nilai akhir respon spektrum
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

5.6.1 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut Pasal 7.9.1 SNI 1726:2012, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah.

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 v14 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 5.4 berikut:

Menurut Pasal 7.9.1 SNI 1726:2012, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling

sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah.

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 v14 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 5.4 berikut:

Tabel 5. 4 Rasio Partisipasi Massa Hotel Holiday Inn Express Surabaya

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
MODAL	Mode	1	0,784	1,75E-06
MODAL	Mode	2	0,784	0,775
MODAL	Mode	3	0,784	0,775
MODAL	Mode	4	0,879	0,775
MODAL	Mode	5	0,879	0,883
MODAL	Mode	6	0,879	0,883
MODAL	Mode	7	0,907	0,883
MODAL	Mode	8	0,907	0,91
MODAL	Mode	9	0,922	0,91
MODAL	Mode	10	0,922	0,91
MODAL	Mode	11	0,922	0,91
MODAL	Mode	12	0,922	0,91

Berdasarkan tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 90,7% pada moda ke 7 dan partisipasi massa arah Y sebesar 91,0% pada moda ke 8. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

5.6.2 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.1, periode fundamental struktur harus ditentukan dari:

$$T = C_t \cdot h_n^x$$

Nilai T di atas adalah batas bawah periode struktur yang ditinjau. Untuk batas atasnya dikalikan dengan koefisien batas (C_u). Besarnya koefisien tersebut tergantung dari nilai S_{D1} .

Struktur Hotel Holiday Inn Express ini dengan ketinggian 58,25 m digunakan sistem rangka baja dengan bresing eksentrik sehingga pada Tabel 15 SNI 1726:2012 didapatkan nilai:

$$C_t = 0,0731$$

$$x = 0,75$$

$$h_n = 58,25 \text{ m}$$

Maka :

$$\begin{aligned} T_{a \text{ min}} &= 0,0731 \cdot 58,25^{0,75} \\ &= 1,541 \text{ s} \end{aligned}$$

Untuk nilai $S_{D1} = 0,745$, maka berdasarkan Tabel 14 SNI 1726:2012 didapatkan nilai C_u sebesar 1,4. Sehingga nilai $T_{a \text{ max}}$ nya adalah:

$$\begin{aligned} T_{a \text{ max}} &= C_u \cdot T_{a \text{ min}} \\ &= 1,4 \cdot 1,541 \text{ s} \\ &= 2,158 \text{ s} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk *output* periode dari program bantu sap 2000 v14 dapat dilihat pada Tabel 5.5 di bawah ini.

Tabel 5. 5 Periode dan Frekuensi Struktur

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	1,582	0,632
MODAL	Mode	2	1,371	0,730

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	3	0,942	1,062
MODAL	Mode	4	0,518	1,932
MODAL	Mode	5	0,454	2,202
MODAL	Mode	6	0,317	3,153
MODAL	Mode	7	0,288	3,474
MODAL	Mode	8	0,249	4,010
MODAL	Mode	9	0,194	5,143
MODAL	Mode	10	0,175	5,722
MODAL	Mode	11	0,175	5,730
MODAL	Mode	12	0,173	5,784

Berdasarkan tabel di atas didapatkan nilai $T = 1,582$ s. Maka berdasarkan kontrol waktu getar alami fundamental nilai T masih lebih kecil dari $T_a \text{ max} = 2,158$ s. Jadi analisis struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya masih memenuhi persyaratan Pasal 7.8.2 SNI 1726:2012.

5.6.3 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Pada SNI 1726:2012, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah:

$$V = C_s \cdot W \quad (\text{SNI 1726:2012, Pasal 7.8.1})$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \\
 &= \frac{0,911}{\left(\frac{8}{1} \right)}
 \end{aligned}$$

$$= 0,114$$

C_s di atas nilainya tidak perlu diambil lebih besar dari:

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \\ &= \frac{0,745}{1,582 \left(\frac{8}{1} \right)} \\ &= 0,0518 < 0,114 \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Maka diambil $C_s = 0,0518$ dan tidak lebih kecil dari :

$$\begin{aligned} C_s &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\ &= 0,044 \cdot 0,911 \cdot 1 \\ &= 0,0401 < 0,0518 \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Maka nilai C_s yang dipakai adalah sebesar 0,0518.

Tabel 5. 6 Reaksi Dasar Struktur

OutputCase Text	CaseType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf
1D+1L	Combination	-6,9E-11	-4,7E-08	9555617,74

Berdasarkan tabel di atas melalui program bantu sap 2000 v14 didapatkan nilai berat total struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya sebesar 9555617,74 kg, sehingga:

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C_s \cdot W \\ &= 0,0518 \cdot 9555617,74 \text{ kg} \\ &= 494980,9989 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tabel 5. 7 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf
GEMPA X	LinRespSpec	Max	287082,9	98246,08
GEMPA Y	LinRespSpec	Max	86173,42	327303,9

Kontrol nilai akhir respon:

- Gempa arah X:

$$\begin{aligned} V_{\text{dinamik}} &\geq 85\% \cdot V_{\text{statik}} \\ 287082,9 \text{ kg} &\geq 85\% \cdot 494980,9989 \text{ kg} \\ 287082,9 \text{ kg} &< 420733,849 \text{ kg} \rightarrow \text{NOT OK} \end{aligned}$$

- Gempa arah Y:

$$\begin{aligned} V_{\text{dinamik}} &\geq 85\% \cdot V_{\text{statik}} \\ 327303,9 \text{ kg} &\geq 85\% \cdot 494980,9989 \text{ kg} \\ 327303,9 \text{ kg} &< 420733,849 \text{ kg} \rightarrow \text{NOT OK} \end{aligned}$$

Dari kontrol nilai akhir respon di atas, analisis struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya masih belum memenuhi syarat nilai akhir respon. Pada Pasal 11.1.4 SNI 1726:2012 dijelaskan apabila gaya geser dasar hasil analisis kurang dari 85%, maka harus diperbesar dengan faktor skala $0,85 \cdot \frac{C_s \cdot W}{V}$.

Untuk arah X:

$$0,85 \cdot \frac{C_s \cdot W}{V} = 0,85 \cdot \frac{0,0518 \cdot 9555617,74}{287082,9} = 1,465$$

Untuk arah Y:

$$0,85 \cdot \frac{C_s \cdot W}{V} = 0,85 \cdot \frac{0,0518 \cdot 9555617,74}{327303,9} = 1,285$$

Setelah dikali faktor skala di atas didapatkan gaya geser dasar sebagai berikut:

Tabel 5. 8 Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa Setelah Dikalikan dengan Faktor Skala

OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf
GEMPA X	LinRespSpec	Max	430624,3	147369,1
GEMPA Y	LinRespSpec	Max	112025,4	425495,1

Kontrol nilai akhir respon:

- Gempa arah X:

$$\begin{aligned} V_{\text{dinamik}} &\geq 85\% \cdot V_{\text{statik}} \\ 430624,3 \text{ kg} &\geq 85\% \cdot 494980,9989 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$430624,3 \text{ kg} > 420733,849 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$

- Gempa arah Y:

$$V_{\text{dinamik}} \geq 85\% \cdot V_{\text{statik}}$$

$$425495,1 \text{ kg} \geq 85\% \cdot 494980,9989 \text{ kg}$$

$$425495,1 \text{ kg} > 420733,849 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$

Berdasarkan kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya masih memenuhi persyaratan Pasal 7.8 SNI 1726:2012.

5.6.4 Kontrol Batas Simpangan (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Menurut Pasal 7.9.3 SNI 1726:2012 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus:

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana:

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan ijin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1 :

$$\Delta_1 = C_d \times \delta_{e1} / I$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 2 :

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) \times C_d / I$$

Dimana:

δ_{e1} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I = Faktor keutamaan gedung

Berdasarkan Tabel 9 SNI 1726:2012 untuk sistem rangka bresing eksentrik didapatkan nilai $C_d = 4$ dan dari Tabel 2 SNI 1726:2012 didapat nilai $I = 1$. Menurut Tabel 16 SNI 1726:2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat ijinnya adalah:

$$\Delta_a = 0,020 \cdot h_{sx}$$

Dimana :

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

- Untuk tinggi tingkat 3,4 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,020 \cdot 3,4 \\ &= 0,068 \text{ m} \\ &= 68 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Untuk tinggi tingkat 3,5 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,020 \cdot 3,5 \\ &= 0,07 \text{ m} \\ &= 70 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Untuk tinggi tingkat 3,7 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,020 \cdot 3,7 \\ &= 0,074 \text{ m} \\ &= 74 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Untuk tinggi tingkat 4,2 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,020 \cdot 4,2 \\ &= 0,084 \text{ m} \\ &= 84 \text{ mm}\end{aligned}$$

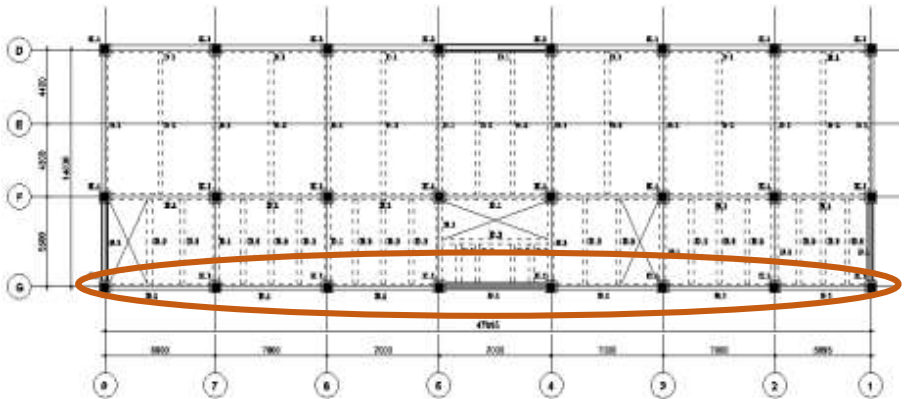
- Untuk tinggi tingkat 4,65 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,020 \cdot 4,65 \\ &= 0,093 \text{ m} \\ &= 93 \text{ mm}\end{aligned}$$

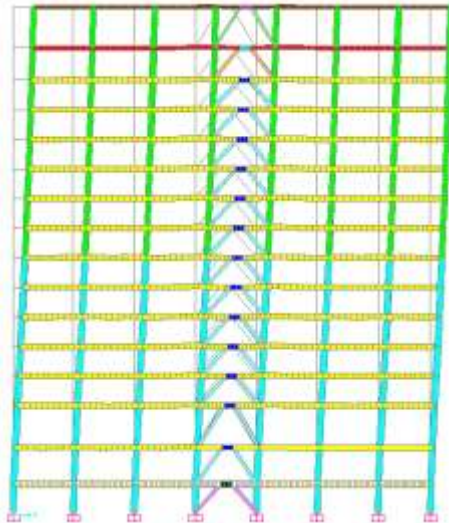
- Untuk tinggi tingkat 4,8 m, simpangan ijinnya adalah:

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,020 \cdot 4,8 \\ &= 0,096 \text{ m} \\ &= 96 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program bantu SAP 2000 v14, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur portal yang terdapat pada Gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Portal yang Ditinjau untuk Simpangan pada Struktur



Gambar 5. 6 Simpangan yang Terjadi pada Struktur

Besarnya nilai simpangan pada struktur hasil analisis dengan menggunakan program bantu SAP 2000 v14, diperoleh nilai simpangan yang terjadi, kontrol simpangan

menurut SNI 1726:2012 dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10.

Tabel 5. 9 Kontrol Simpangan yang Terjadi Akibat Beban Gempa pada Arah X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (mm)	Simpangan diperbesar	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan ijin antar lantai (mm)	Ket
i	h _i	h _{xs}	Δ _e	Δ	Δ _a		
		h _i -h _(i-1)		Δ _e x C _d	Δ _i -Δ _(i-1)	0,02* h _{xs}	
Ground	0	0	0	0	0	0	OK
1	3,5	3,5	2,115	8,460	8,460	70	OK
2	7,7	4,2	8,754	35,016	26,556	84	OK
3	12,5	4,8	18,325	73,300	38,284	96	OK
4	15,9	3,4	24,747	98,988	25,688	68	OK
5	19,3	3,4	30,813	123,252	24,264	68	OK
6	22,7	3,4	36,586	146,344	23,092	68	OK
7	26,1	3,4	42,057	168,228	21,884	68	OK
8	29,5	3,4	47,183	188,732	20,504	68	OK
9	32,9	3,4	51,937	207,748	19,016	68	OK
10	36,3	3,4	56,238	224,952	17,204	68	OK
11	39,7	3,4	60,152	240,608	15,656	68	OK
12	43,1	3,4	63,670	254,680	14,072	68	OK
13	46,5	3,4	66,777	267,108	12,428	68	OK
14	49,9	3,4	69,498	277,992	10,884	68	OK
atap	53,6	3,7	72,202	288,808	10,816	74	OK
top atap	58,25	4,65	75,335	301,340	12,532	93	OK

Tabel 5. 10 Kontrol Simpangan yang Terjadi Akibat Beban Gempa pada Arah Y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (mm)	Simpangan diperbesar	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan ijin antar lantai (mm)	Ket
i	h _i	h _{xs}	Δ _e	Δ	Δ _a		
		h _i -h _(i-1)		Δ _e x C _d	Δ _i -Δ _(i-1)	0,02* h _{xs}	
Ground	0	0	0	0	0	0	OK
1	3,5	3,5	1,646	6,584	6,584	70	OK
2	7,7	4,2	6,653	26,612	20,028	84	OK
3	12,5	4,8	13,616	54,464	27,852	96	OK
4	15,9	3,4	18,157	72,628	18,164	68	OK
5	19,3	3,4	22,458	89,832	17,204	68	OK
6	22,7	3,4	26,609	106,436	16,604	68	OK
7	26,1	3,4	30,618	122,472	16,036	68	OK
8	29,5	3,4	34,473	137,892	15,420	68	OK
9	32,9	3,4	38,177	152,708	14,816	68	OK
10	36,3	3,4	41,649	166,596	13,888	68	OK
11	39,7	3,4	44,878	179,512	12,916	68	OK
12	43,1	3,4	47,836	191,344	11,832	68	OK
13	46,5	3,4	50,502	202,008	10,664	68	OK
14	49,9	3,4	52,897	211,588	9,580	68	OK
atap	53,6	3,7	55,335	221,340	9,752	74	OK
top atap	58,25	4,65	58,142	232,568	11,228	93	OK

Berdasarkan hasil kontrol tabel di atas maka analisis struktur Hotel Holiday Inn Express Surabaya memenuhi persyaratan sesuai dengan Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1 SNI 1726:2012.

BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER

6.1 Perencanaan Elemen Struktur Primer

6.1.1 Balok Induk

6.1.1.1 Balok Induk Arah X

Pada lantai 2-14 digunakan balok profil WF 600 x 200 x 10 x 15 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$W = 120,5 \text{ kg/m} \quad Z_x = 2535,175 \text{ cm}^3 \quad r = 22 \text{ mm}$$

$$A = 94,6 \text{ cm}^2 \quad Z_y = 311,16 \text{ cm}^3 \quad S_x = 2310 \text{ cm}^3$$

$$t_w = 10 \text{ mm} \quad i_x = 23,9 \text{ cm} \quad S_y = 199 \text{ cm}^3$$

$$t_f = 15 \text{ mm} \quad i_y = 4,05 \text{ cm}$$

$$d = 596 \text{ mm} \quad I_x = 68700 \text{ cm}^4$$

$$b_f = 199 \text{ mm} \quad I_y = 1980 \text{ cm}^4$$

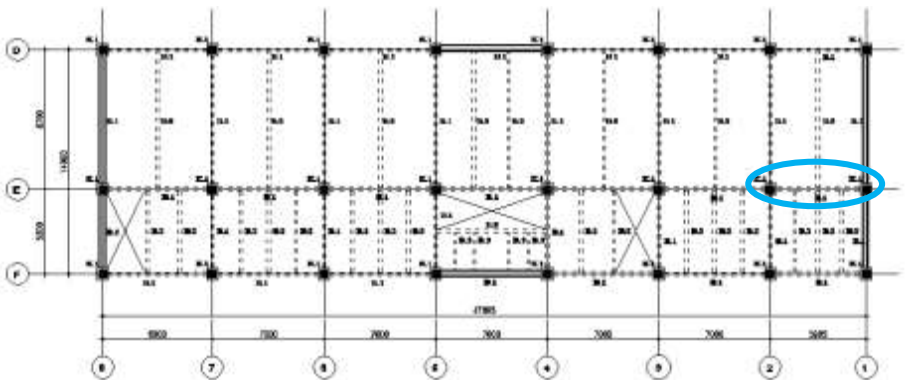
$$h_w = 596 - (2 \times (15 + 22)) = 522 \text{ mm}$$

$$h_o = 596 - 15 = 581 \text{ mm} = 58,1 \text{ cm}$$

$$J = \left(\frac{1}{3} \times 522 \times 10^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \times 199 \times 15^3 \right)$$

$$= 621750 \text{ mm}^4 = 62,175 \text{ cm}^4$$

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada frame 1387 akibat kombinasi pembebanan 1,2D+1Ex+1L.



Gambar 6. 1 Lokasi Balok Induk *Frame 1387*



Gambar 6. 2 Diagram Momen dan Geser pada Balok Induk
Frame 1387



Gambar 6. 3 Diagram Lendutan Akibat Kombinasi Pembebanan
1D+1L pada Balok Induk *Frame 1387*

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 BJ 41:
 $F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
 $F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$
 Panjang balok induk = 5,995 m
 Jarak antar *shear connector* = 20 cm
 Jarak antar balok anak = 1,75 m
 $M_u = 39003,5 \text{ kg.m}$
 $V_u = 16254,32 \text{ kg}$
 $\delta = 0,001406 \text{ m} = 0,1406 \text{ cm}$

a. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned}\delta_{ijin} &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{599,5}{360} \\ &= 1,665 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

$$\delta = 0,1406 \text{ cm}$$

- Syarat lendutan

$$\begin{aligned}\delta &< \delta_{ijin} \\ 0,1406 \text{ cm} &< 1,665 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

b. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\frac{h}{tw} < 260$$

$$\frac{522}{10} < 260$$

$$52,2 < 260 \quad \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$\frac{522}{10} < 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot (2 \times 10^5)}{250}}$$

$$52,2 < 69,57 \quad \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned}V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (596 \times 10) \cdot 1 \\ &= 894000 \text{ N} \\ &= 89400 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned}V_u &\leq \phi V_n \\ 16254,3 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 89400 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$16254,3 \text{ kg} < 80460 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK}$$

c. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Sayap (flange)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{199}{2 \times 15} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 6,63 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Badan (web)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{522}{10} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 52,2 &< 106,35 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 2535,175 \cdot 2500 \\ &= 6337937,5 \text{ kg.cm} \\ &= 63379,38 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 39003,5 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 63379,38 \text{ kg.m} \\ 39003,5 \text{ kg.m} &< 57041,4 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

d. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$L_b = 1,75 \text{ m} = 175 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 1,76 \cdot 4,05 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6}{2500}} \\
 &= 201,61 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_b &< L_p \\
 175 \text{ cm} &< 201,61 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $L_b < L_p$, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned}
 M_n = M_p &= Z_x \cdot F_y \\
 &= 2535,175 \cdot 2500 \\
 &= 6337937,5 \text{ kg.cm} \\
 &= 63379,38 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

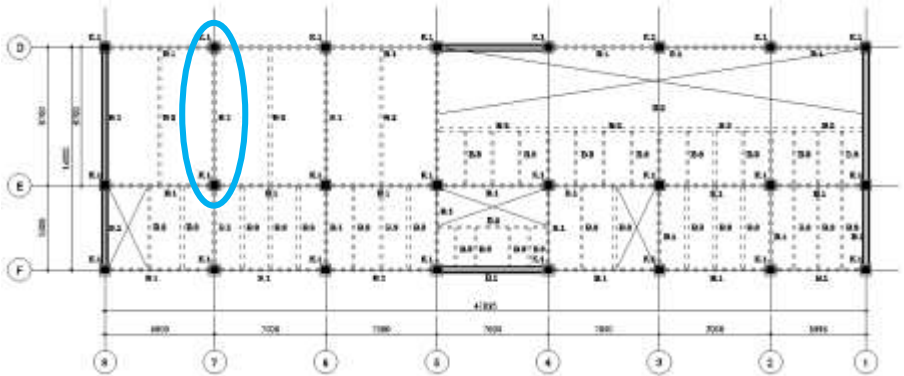
$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi M_n \\
 39003,5 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 63379,38 \text{ kg.m} \\
 39003,5 \text{ kg.m} &< 57041,4 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

6.1.1.2 Balok Induk Arah Y

Pada lantai 2-14 digunakan balok profil WF 600 x 200 x 10 x 15 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 120,5 \text{ kg/m} & Z_x &= 2535,175 \text{ cm}^3 & r &= 22 \text{ mm} \\
 A &= 94,6 \text{ cm}^2 & Z_y &= 311,16 \text{ cm}^3 & S_x &= 2310 \text{ cm}^3 \\
 t_w &= 10 \text{ mm} & i_x &= 23,9 \text{ cm} & S_y &= 199 \text{ cm}^3 \\
 t_f &= 15 \text{ mm} & i_y &= 4,05 \text{ cm} \\
 d &= 596 \text{ mm} & I_x &= 68700 \text{ cm}^4 \\
 b_f &= 199 \text{ mm} & I_y &= 1980 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 596 - (2 \times (15 + 22)) = 522 \text{ mm} \\
 h_o &= 596 - 15 = 581 \text{ mm} = 58,1 \text{ cm} \\
 J &= \left(\frac{1}{3} \cdot 522 \cdot 10^3 \right) + \left(\frac{2}{3} \cdot 199 \cdot 15^3 \right) \\
 &= 621750 \text{ mm}^4 = 62,175 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

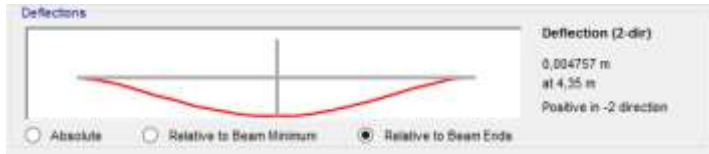
Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada frame 1324 akibat kombinasi pembebanan $1,2D+1E_y+1L$.



Gambar 6. 4 Lokasi Balok Induk *Frame* 1324



Gambar 6. 5 Diagram Momen dan Geser pada Balok Induk *Frame* 1324



Gambar 6. 6 Diagram Lendutan Akibat Kombinasi Pembebanan 1D+1L pada Balok Induk *Frame* 1324

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 BJ 41:
 $F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
 $F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$
 Panjang balok induk = 8,7 m
 Jarak antar *shear connector* = 20 cm
 $M_u = 37743,89 \text{ kg.m}$
 $V_u = 18340,29 \text{ kg}$
 $\delta = 0,004757 \text{ m} = 0,4757 \text{ cm}$

a. Kontrol lendutan balok (LRFD Bab 5.5 Hal 88)

- Lendutan ijin

$$\begin{aligned}\delta_{\text{ijin}} &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{870}{360} \\ &= 2,417 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi

$$\delta = 0,4757 \text{ cm}$$

- Syarat lendutan

$$\begin{aligned}\delta &< \delta_{\text{ijin}} \\ 0,4757 \text{ cm} &< 2,417 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

b. Kontrol tegangan geser (SNI 1729:2015, Pasal G2)

- Badan tanpa pengaku transversal

$$\frac{h}{tw} < 260$$

$$\frac{522}{10} < 260$$

$$52,2 < 260 \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien tekuk geser pelat badan (k_v) = 5

$$\frac{h}{tw} < 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$\frac{522}{10} < 1,1 \sqrt{\frac{5 \cdot (2 \times 10^5)}{250}}$$

$$52,2 < 69,57 \rightarrow \text{OK}$$

Maka koefisien geser badan (C_v) = 1

- Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= 0,6 \cdot 250 \cdot (596 \times 10) \cdot 1 \\ &= 894000 \text{ N} \\ &= 89400 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Syarat kekuatan geser

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_n \\ 18340,3 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 89400 \text{ kg} \\ 18340,3 \text{ kg} &< 80460 \text{ kg} \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

c. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

- Elemen tanpa pengaku

$$\begin{aligned} \text{Flange: } \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{199}{2 \times 15} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 6,63 &< 10,748 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Elemen dengan pengaku

$$\begin{aligned} \text{Web: } \lambda &< \lambda_p \\ \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \end{aligned}$$

$$\frac{522}{10} < 3,76\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}}$$

$$52,2 < 106,35$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 2535,175 \cdot 2500 \\ &= 6337937,5 \text{ kg.cm} \\ &= 63379,38 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 37743,89 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 63379,38 \text{ kg.m} \\ 37743,89 \text{ kg.m} &< 57041,4 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- d. Kontrol kuat lentur akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$L_b = 20 \text{ cm}$ (jarak antar *shear connector*)

$$\begin{aligned} L_p &= 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 1,76 \times 4,05 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}} \\ &= 201,61 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_b &< L_p \\ 20 \text{ cm} &< 201,61 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dikarenakan $L_b < L_p$, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal lentur

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= Z_x \cdot F_y \\ &= 2535,175 \cdot 2500 \\ &= 6337937,5 \text{ kg.cm} \\ &= 63379,38 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat lentur

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 37743,89 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 63379,38 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$37743,89 \text{ kg.m} < 57041,4 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}$$

6.1.2 Kolom

Pada perencanaan gedung Hotel Holiday Inn Express Surabaya digunakan kolom CFT. Untuk lantai 1-8 digunakan CFT dengan profil HSS 700 x 700 x 25 x 25 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W &= 517,24 \text{ kg/m} & Z_x &= 13650 \text{ cm}^3 & r &= 75 \text{ mm} \\ A &= 646 \text{ cm}^2 & Z_y &= 13650 \text{ cm}^3 & S_x &= 2310 \text{ cm}^3 \\ t_w &= 25 \text{ mm} & i_x &= 27,2 \text{ cm} & S_y &= 199 \text{ cm}^3 \\ t_f &= 25 \text{ mm} & i_y &= 27,2 \text{ cm} & I_x &= 477900 \text{ cm}^4 \\ d &= 700 \text{ mm} & b_f &= 700 \text{ mm} & I_y &= 477900 \text{ cm}^4 \\ h_w &= 700 - (2 \times (25 + 75)) = 500 \text{ mm} \\ h_o &= 700 - 25 = 675 \text{ mm} = 67,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

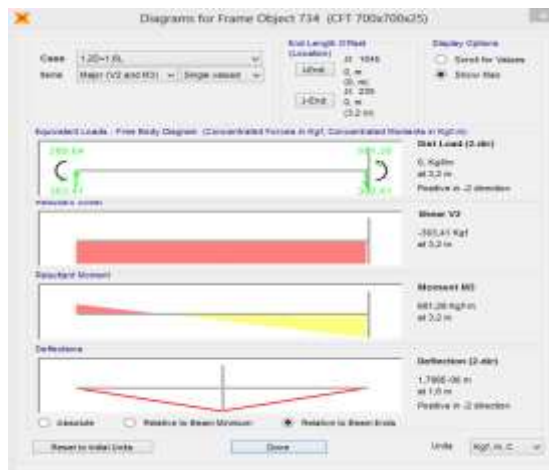
Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada frame 734 akibat kombinasi pembebanan 1,2D+1,6L.



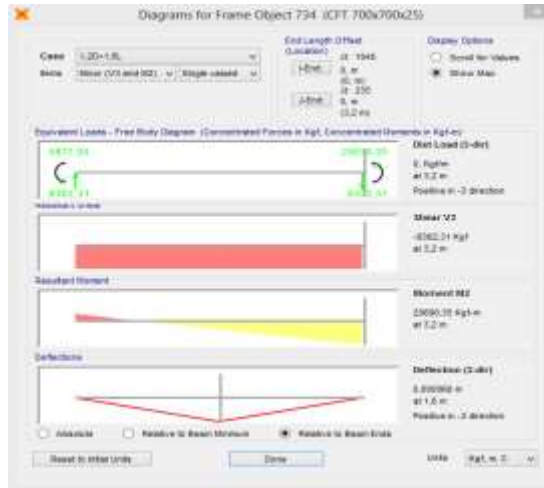
Gambar 6. 7 Lokasi Kolom *Frame 734*



Gambar 6. 8 Diagram Gaya Aksial pada Kolom *Frame* 734

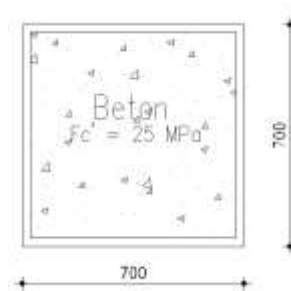


Gambar 6. 9 Diagram Momen Arah X pada Kolom *Frame* 734



Gambar 6. 10 Diagram Momen Arah Y pada Kolom
Frame 734

Diketahui:	E	= 200000 MPa	= 2x10 ⁶ kg/ cm ²
	BJ 41:		
	Fy	= 250 MPa	= 2500 kg/cm ²
	Fu	= 410 MPa	= 4100 kg/cm ²
	F'c	= 25 Mpa	= 250 kg/ cm ²
	Tinggi kolom		= 3,2 m
	Vu	= 819074,88 kg	
	Mux	= 681,28 kg.m	
	Muy	= 20690,35 kg.m	



Gambar 6. 11 Penampang Kolom Komposit CFT dengan Profil HSS 700x700x25x25

- a. Kontrol luas penampang minimum profil baja (SNI 03-1729-2002, Pasal 12.3.1, Ayat 1)

$$A_c = 65 \times 65 \\ = 4225 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} \times 100\% \geq 4\%$$

$$\frac{646}{4225 + 646} \times 100\% \geq 4\%$$

$$13,262\% > 4\% \quad \rightarrow \text{OK}$$

- b. Kontrol tebal minimum penampang persegi (SNI 03-1729-2002, Pasal 12.3.1, Ayat 5)

$$t_{\min} \leq 25 \text{ mm}$$

$$b \times \sqrt{\frac{F_y}{3E}} \leq 25 \text{ mm}$$

$$700 \times \sqrt{\frac{250}{3 \times (2 \times 10^5)}} \leq 25 \text{ mm}$$

$$14,289 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

- c. Kontrol kekuatan nominal penampang komposit akibat tekuk lokal (SNI 1729:2015, Tabel I1.1B dan Pasal I1.4)

$$\text{Flange:} \quad \lambda < \lambda_p$$

$$\frac{bf}{2tf} < 2,26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{700}{2 \times 25} < 2,26\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}}$$

$$14 < 63,922$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Web: $\lambda < \lambda_p$

$$\frac{h}{tw} < 3x\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{500}{25} < 3x\sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}}$$

$$20 < 84,853$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal

$$M_n = Z_x \cdot F_y$$

$$= 13650 \cdot 2500$$

$$= 34125000 \text{ kg.cm}$$

$$= 341250 \text{ kg.m}$$

- Syarat kuat nominal

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$20690,35 \text{ kg.m} \leq 0,9 \cdot 341250 \text{ kg.m}$$

$$20690,35 \text{ kg.m} < 307125 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}$$

d. Kontrol kekuatan nominal penampang komposit akibat tekuk lateral (SNI 1729:2015, Pasal F2.2)

$$L_b = 3,2 - 0,5 = 2,7 \text{ m} = 270 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 1,76 \times 27,2x \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2500}}$$

$$= 1354 \text{ cm}$$

$$L_b < L_p$$

$$175 \text{ cm} < 201,61 \text{ cm}$$

Dikarenakan $L_b < L_p$, maka $M_n = M_p$

- Momen nominal

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 13650 \cdot 2500 \\ &= 34125000 \text{ kg.cm} \\ &= 341250 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Syarat kuat nominal

$$\begin{aligned} M_u &\leq \phi M_n \\ 20690,35 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 341250 \text{ kg.m} \\ 20690,35 \text{ kg.m} &< 307125 \text{ kg.m} \quad \rightarrow \quad \text{OK} \end{aligned}$$

e. Kekuatan lentur dan aksial orde kedua

1. Kuat nominal tekan penampang komposit (SNI 1729:2015, Tabel I1.1A dan Pasal I2.2b)

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} &< 2,26 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{700}{2 \times 25} &< 2,26 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\ 14 &< 63,922 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak sehingga kekuatan nominal tekan diperhitungkan sebagai berikut:

$$P_{no} = P_p$$

$$C_2 = 0,85 \text{ (untuk penampang persegi)}$$

$$\begin{aligned} P_p &= F_y \cdot A_s + C_2 \cdot F_c' \left[A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right] \\ &= 2500 \cdot 646 + 0,85 \cdot 250 [4225 + 0] \\ &= 2512812,5 \text{ kg} \\ P_{no} &= P_p \\ &= 2512812,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Momen lentur dan aksial terfaktor (SNI 1729:2015, Lampiran 8, Pasal 8.2)

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan data-data sebagai berikut:

Arah sumbu X:

$$M_1 = 289,64 \text{ kg.m}$$

$$M_2 = 681,28 \text{ kg.m}$$

$$M_{ntx} = 681,28 \text{ kg.m}$$

$$M_{ltx} = 18908,33 \text{ kg.m}$$

$$P_{ntx} = 819074,88 \text{ kg}$$

$$P_{ltx} = 739903,34 \text{ kg}$$

$$P_r = 1558978,22 \text{ kg}$$

$$P_{story} = 819074,88 \text{ kg}$$

$$L = 2,7 \text{ m} = 270 \text{ cm}$$

$$H = 303,41 \text{ kg}$$

$$\Delta_H = 0,00000025 \text{ m} = 0,000025 \text{ cm}$$

• Menghitung faktor pengali B_1 :

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \\ &= 0,6 - 0,4 \frac{289,64}{681,28} \\ &= 0,43 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{el} &= \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot (2 \times 10^6) \cdot 477900}{(1,270)^2} \\ &= 129270311,111 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$B_1 \geq 1$$

$$\frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{el}}} \geq 1$$

$$\begin{aligned} &\frac{0,43}{1 - 1 \frac{1558978,22}{129270311,111}} \geq 1 \end{aligned}$$

$$0,435 < 1$$

Maka B_1 yang digunakan adalah 1

- Menghitung faktor pengali B_2 :

$P_{mf} = 0$ (untuk sistem rangka berbreis)

$$\begin{aligned} R_M &= 1 - 0,15 \frac{P_{mf}}{P_{story}} \\ &= 1 - 0,15 \frac{0}{819074,88} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{e \text{ stroy}} &= R_M \frac{H.L}{\Delta_H} \\ &= 1 \times \frac{303,41.270}{0,000025 \text{ cm}} \\ &= 3276828000 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$B_2 \geq 1$$

$$\frac{1}{\alpha \cdot P_{story}} \geq 1$$

$$1 - \frac{P_{e \text{ story}}}{P_{story}} \geq 1$$

$$\frac{1}{1 - \frac{1.819074,88}{3276828000}} \geq 1$$

$$1,0003 > 1$$

$$1,0003 > 1$$

Maka B_2 yang digunakan adalah 1,0003.

- Kekuatan lentur orde kedua arah X

$$\begin{aligned} M_{rx} &= B_1 \cdot M_{ntx} + B_2 \cdot M_{ltx} \\ &= 1 \cdot 681,28 + 1,0003 \cdot 18908,33 \\ &= 19594,338 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Arah sumbu Y:

$$M_1 = 5877,05 \text{ kg.m}$$

$$M_2 = 20690,35 \text{ kg.m}$$

$$M_{nty} = 20690,35 \text{ kg.m}$$

$$M_{lty} = 60484,4 \text{ kg.m}$$

$$P_{nty} = 819074,88 \text{ kg}$$

$$P_{lty} = 739903,34 \text{ kg}$$

$$P_r = 1558978,22 \text{ kg}$$

$$P_{\text{story}} = 819074,88 \text{ kg}$$

$$L = 2,7 \text{ m} = 270 \text{ cm}$$

$$H = 10713,15 \text{ kg}$$

$$\Delta_H = 0,0000068 \text{ m} = 0,00068 \text{ cm}$$

- Menghitung faktor pengali B_1 :

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \\ &= 0,6 - 0,4 \frac{5877,05}{20690,35} \\ &= 0,486 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{e1} &= \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot (2 \times 10^6) \cdot 477900}{(1,270)^2} \\ &= 129270311,111 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$B_1 \geq 1$$

$$\frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{e1}}} \geq 1$$

$$\frac{0,486}{1 - 1 \frac{1558978,22}{129270311,111}} \geq 1$$

$$0,492 < 1$$

Maka B_1 yang digunakan adalah 1

- Menghitung faktor pengali B_2 :

$P_{mf} = 0$ (untuk sistem rangka berbreis)

$$\begin{aligned} R_M &= 1 - 0,15 \frac{P_{mf}}{P_{\text{story}}} \\ &= 1 - 0,15 \frac{0}{819074,88} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{e \text{ stroy}} &= R_M \frac{H.L}{\Delta_H} \\
 &= 1x \frac{10713,15.270}{0,00068 \text{ cm}} \\
 &= 4253750735,294 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$B_2 \geq 1$$

$$\frac{1}{1 - \frac{\alpha \cdot P_{story}}{P_{e \text{ story}}}} \geq 1$$

$$\begin{aligned}
 &\frac{1}{1 - \frac{1.819074,88}{4253750735,294}} \geq 1 \\
 &1,0002 > 1
 \end{aligned}$$

Maka B_2 yang digunakan adalah 1,0002.

- Kekuatan lentur orde kedua arah Y

$$\begin{aligned}
 M_{ry} &= B_1 \cdot M_{nty} + B_2 \cdot M_{lty} \\
 &= 1 \cdot 20690,35 + 1,0002 \cdot 60484,4 \\
 &= 81186,399 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Kuat aksial orde kedua (P_r):

$$\begin{aligned}
 P_{nt} &= 819074,88 \text{ kg} \\
 P_{lt} &= 739903,34 \text{ kg} \\
 B_2 &= 1,0003 \\
 P_r &= P_{nt} + B_2 \cdot P_{lt} \\
 &= 819074,88 + 1,0003 \cdot 739903,34 \\
 &= 1559120,72 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol interaksi aksial dan momen

$$\begin{aligned}
 M_n &= 341250 \text{ kg.m} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 341250 \\
 &= 307125 \text{ kg.m} \\
 P_n &= 2512812,5 \text{ kg} \\
 \phi P_n &= 0,9 \times 2512812,5 \\
 &= 2261531,25 \text{ kg} \\
 M_{rx} &= 19594,338 \text{ kg.m} \\
 M_{ry} &= 81186,399 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{P_r}{P_c} &= \frac{P_r}{\phi_c P_n} \\
 &= \frac{1559120,72}{2261531,25} \\
 &= 0,497
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $\frac{P_r}{P_c} > 0,2$, maka rumus interaksi aksial

dan momen digunakan rumus yang terdapat pada SNI 03-1729-2002 Pasal 12.5, Persamaan 12.5-1, yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{rx}}{\phi M_n} + \frac{M_{ry}}{\phi M_n} \right] &\leq 1,0 \\
 0,497 + \frac{8}{9} \left[\frac{19594,338}{307125} + \frac{81186,399}{307125} \right] &\leq 1,0 \\
 0,818 &< 1,0 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

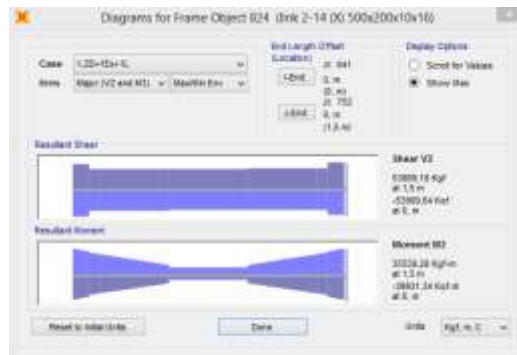
6.1.3 *Link*

6.1.3.1 *Link Arah X*

Pada lantai 1-14 arah X digunakan *link* profil WF 500 x 200 x 10 x 16 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 89,7 \text{ kg/m} & Z_x &= 2096,36 \text{ cm}^3 & r &= 20 \text{ mm} \\
 A &= 114,2 \text{ cm}^2 & Z_y &= 331,7 \text{ cm}^3 & S_x &= 1910 \text{ cm}^3 \\
 tw &= 10 \text{ mm} & ix &= 20,5 \text{ cm} & S_y &= 214 \text{ cm}^3 \\
 tf &= 16 \text{ mm} & iy &= 4,33 \text{ cm} \\
 d &= 500 \text{ mm} & I_x &= 47800 \text{ cm}^4 \\
 bf &= 200 \text{ mm} & I_y &= 2140 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 500 - (2 \times (16 + 20)) = 428 \text{ mm} \\
 h_o &= 500 - 16 = 484 \text{ mm} = 48,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada *frame* 824 akibat kombinasi pembebanan 1,2D+1Ex+1L.

Gambar 6. 12 Lokasi *Link Frame* 824Gambar 6. 13 Diagram Gaya Geser pada *Link Frame* 824

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

BJ 41:

$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$

$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$

Panjang *link* = 1,5 m

$M_u = 39931,34 \text{ kg.m}$

$V_u = 53909,64 \text{ kg}$

$N_u = 35051,07 \text{ kg}$

- a. Perencanaan panjang *link* (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.2)

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot F_y \\
 &= 2096,36 \cdot 2500 \\
 &= 5240900 \text{ kg.cm} \\
 &= 52409 \text{ kg.m} \\
 V_p &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \\
 &= 0,6 \cdot F_y \cdot (d - 2t_f) \cdot t_w \\
 &= 0,6 \cdot 2500 \cdot (500 - 2 \cdot 16) \cdot 10 \\
 &= 702000 \text{ N} \\
 &= 70200 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Direncanakan *link* dengan panjang 1,5 m, maka:

$$\begin{aligned}
 1,6 \frac{M_p}{V_p} &\leq e \leq 2,6 \frac{M_p}{V_p} \\
 1,6 \frac{52409}{70200} &\leq 1,5 \leq 2,6 \frac{52409}{70200} \\
 1,19 &< 1,5 < 1,94
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $1,6 \frac{M_p}{V_p} < e < 2,6 \frac{M_p}{V_p}$, maka *link* termasuk dalam kombinasi *link* geser dan lentur.

- b. Kontrol beban aksial terfaktor (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.2.5 dan Tabel 15.7-1)

$$\begin{aligned}
 \text{Flange: } \lambda &< \lambda_p \\
 \frac{b_f}{2t_f} &< \frac{135}{\sqrt{F_y}} \\
 \frac{200}{2 \times 16} &< \frac{135}{\sqrt{250}} \\
 6,25 &< 8,538
 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

$$\begin{aligned}
 \text{Web: } N_y &= A_g \times F_y \\
 &= 114,2 \times 2500 \\
 &= 285500 \text{ kg} \\
 \phi N_y &= 0,9 \cdot 285500 \\
 &= 256950 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\frac{Nu}{\phi Ny} < 0,125$$

$$\frac{35051,07}{256950} < 0,125$$

$$0,1364 > 0,125$$

Dikarenakan $\frac{Nu}{\phi Ny} > 0,125$, sehingga:

$$\lambda_p \geq \frac{665}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{500}{\sqrt{F_y}} \left[2,33 - \frac{Nu}{\phi Ny} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{500}{\sqrt{250}} [2,33 - 0,136] \geq \frac{665}{\sqrt{250}}$$

$$69,367 > 42$$

Maka λ_p yang digunakan adalah sebesar 69,367

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\frac{h}{tw} < 69,367$$

$$tw$$

$$\frac{428}{10} < 69,367$$

$$10$$

$$42,8 < 106,35$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Syarat kekuatan aksial terfaktor:

$$Nu \leq 0,15 \cdot Ny$$

$$35051,07 \text{ kg} \leq 0,9 \cdot 285500 \text{ kg}$$

$$35051,07 \text{ kg} < 42825 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK}$$

- c. Kontrol tegangan geser (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.2.4)

Kuat geser nominal *link* diambil nilai yang terkecil dari

$$V_p \text{ atau } \frac{2Mp}{V_p}$$

$$V_p = 70200 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{2Mp}{e}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2 \times 52409}{1,5} \\
 &= 69878,667 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{Menentukan} \\
 V_u &\leq \phi V_n \\
 53910 \text{ kg} &\leq 0,9 \cdot 69878,667 \text{ kg} \\
 53910 \text{ kg} &< 62891,8 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

d. Kontrol sudut rotasi *link* (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.2.4)

Dikarenakan panjang *link* $1,6 \frac{M_p}{V_p} < e < 2,6 \frac{M_p}{V_p}$, maka

sudut rotasi *link* harus diinterpolasikan dari nilai 0,08 radian untuk $e \leq 1,6 \frac{M_p}{V_p}$ dan 0,02 radian untuk $e \geq$

$1,6 \frac{M_p}{V_p}$, sehingga:

$$\begin{aligned}
 \gamma_p \text{ max} &= 0,08 + \left[\left(\frac{1,5 - 1,195}{1,941 - 1,195} \right) (0,02 - 0,08) \right] \\
 &= 0,055 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui: } L &= 7 \text{ m} = 700 \text{ cm} \\
 \Delta e &= 0,357 \text{ cm (output SAP 2000 v19)} \\
 C_d &= 4 \text{ (untuk EBF)} \\
 e &= 1,5 \text{ m} = 150 \text{ cm} \\
 h &= 4,8 \text{ m} = 480 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta &= C_d \times \Delta e \\
 &= 4 \times 0,357 \\
 &= 1,428 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_p &= \left(\frac{L}{e} \right) \times \theta_p \\
 &= \left(\frac{L}{e} \right) \times \frac{\Delta}{h} \\
 &= \left(\frac{700}{150} \right) \times \frac{1,428}{480} \\
 &= 0,014 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

Syarat sudut rotasi *link* adalah sebagai berikut:

$$\begin{array}{llll} \gamma_p & < & \gamma_p \text{ max} \\ 0,014 \text{ radian} & < & 0,055 \text{ radian} & \rightarrow \quad \text{OK} \end{array}$$

- e. Pengaku *link* (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.3)

Di titik pertemuan dengan batang bresing, pada *link* harus dipasang pengaku setinggi badan *link* dan berada di kedua sisi pelat badan *link*. Pengaku tersebut harus mempunyai lebar total tidak kurang dari $(bf - 2tw)$ dan ketebalan yang tidak kurang dari nilai terbesar dari $0,75tw$ atau 10 mm, dengan bf dan tw adalah lebar pelat sayap dan tebal pelat badan *link*.

Untuk $\gamma_p = 0,08$ radian, maka:

$$\begin{aligned} S &\leq 30tw - \frac{d}{5} \\ &\leq 30.10 - \frac{500}{5} \\ &\leq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk $\gamma_p = 0,02$ radian, maka:

$$\begin{aligned} S &\leq 30tw - \frac{d}{5} \\ &\leq 52.10 - \frac{500}{5} \\ &\leq 420 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk $\gamma_p = 0,014$ radian, maka:

$$S \leq 420 \text{ mm}$$

Sehingga pengaku *link* dipasang dengan jarak 300 mm.

Link dengan panjang di antara $2,6 \frac{Mp}{Vp}$ dan $5 \frac{Mp}{Vp}$ harus

direncahkan memiliki pengaku antara berspasi $1,5bf$ dari setiap ujung *link*.

Sedangkan *link* dengan panjang di antara $1,6 \frac{Mp}{Vp}$ dan

$2,6 \frac{Mp}{Vp}$ harus direncanakan memiliki pengaku dengan

jarak yang memenuhi kedua jarak tersebut.

Sehingga pengaku *link* dipasang dengan jarak antar *link* 300 mm dan jarak pengaku *link* ke ujung *link*:

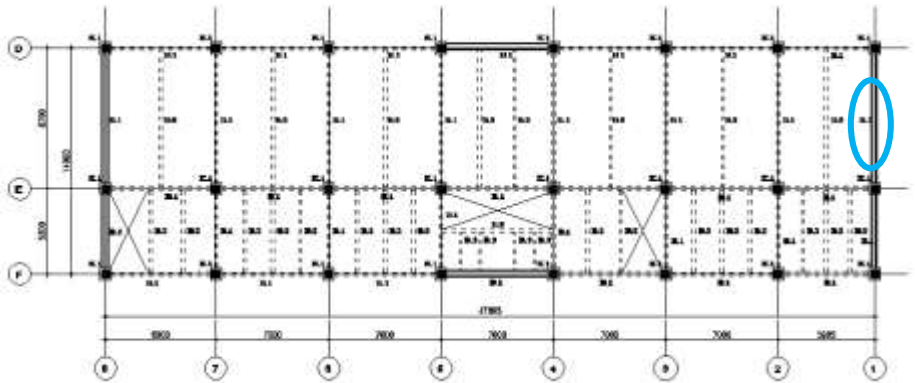
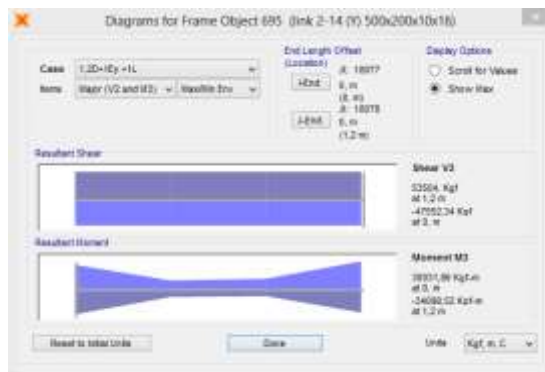
$$\begin{aligned} S &= 1,5bf \\ &= 1,5 \cdot 200 \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

6.1.3.2 *Link* Arah Y

Pada lantai 1-14 arah Y digunakan *link* profil WF 500 x 200 x 10 x 16 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W &= 89,7 \text{ kg/m} & Z_x &= 2096,36 \text{ cm}^3 & r &= 20 \text{ mm} \\ A &= 114,2 \text{ cm}^2 & Z_y &= 331,7 \text{ cm}^3 & S_x &= 1910 \text{ cm}^3 \\ tw &= 10 \text{ mm} & ix &= 20,5 \text{ cm} & S_y &= 214 \text{ cm}^3 \\ tf &= 16 \text{ mm} & iy &= 4,33 \text{ cm} \\ d &= 500 \text{ mm} & I_x &= 47800 \text{ cm}^4 \\ bf &= 200 \text{ mm} & I_y &= 2140 \text{ cm}^4 \\ h_w &= 500 - (2 \times (16 + 20)) = 428 \text{ mm} \\ h_o &= 500 - 16 = 484 \text{ mm} = 48,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada *frame* 695 akibat kombinasi pembebanan 1,2D+1Ey+1L.

Gambar 6. 14 Lokasi *Link Frame* 695Gambar 6. 15 Diagram Gaya Geser pada *Link Frame* 695

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 BJ 41:
 $F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
 $F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$
 Panjang *link* = 1,2 m
 $M_u = 34098,52 \text{ kg.m}$
 $V_u = 53504 \text{ kg}$
 $N_u = 1025,37 \text{ kg}$

- a. Perencanaan panjang *link* (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.2)

$$\begin{aligned}
 M_p &= Z_x \cdot F_y \\
 &= 2096,36 \cdot 2500 \\
 &= 5240900 \text{ kg.cm} \\
 &= 52409 \text{ kg.m} \\
 V_p &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \\
 &= 0,6 \cdot F_y \cdot (d - 2t_f) \cdot t_w \\
 &= 0,6 \cdot 2500 \cdot (500 - 2 \cdot 16) \cdot 10 \\
 &= 702000 \text{ N} \\
 &= 70200 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Direncanakan *link* dengan panjang 1,2 m, maka:

$$\begin{aligned}
 1,6 \frac{M_p}{V_p} &\leq e \leq 2,6 \frac{M_p}{V_p} \\
 1,6 \frac{52409}{70200} &\leq 1,2 \leq 2,6 \frac{52409}{70200} \\
 1,19 &< 1,2 < 1,94
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $1,6 \frac{M_p}{V_p} < e < 2,6 \frac{M_p}{V_p}$, maka *link* termasuk dalam kombinasi *link* geser dan lentur.

- b. Kontrol beban aksial terfaktor (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.2.5 dan Tabel 15.7-1)

$$\begin{aligned}
 \text{Flange: } \lambda &< \lambda_p \\
 \frac{b_f}{2t_f} &< \frac{135}{\sqrt{F_y}} \\
 \frac{200}{2 \times 16} &< \frac{135}{\sqrt{250}} \\
 6,25 &< 8,538
 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

$$\begin{aligned}
 \text{Web: } N_y &= A_g \times F_y \\
 &= 114,2 \times 2500 \\
 &= 285500 \text{ kg} \\
 \phi N_y &= 0,9 \cdot 285500 \\
 &= 256950 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\frac{Nu}{\phi N_y} < 0,125$$

$$\frac{1025,4}{256950} < 0,125$$

$$0,04 < 0,125$$

Dikarenakan $\frac{Nu}{\phi N_y} < 0,125$, sehingga:

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\frac{h}{tw} < \frac{1365}{\sqrt{F_y}} \left[1 - 1,54 \frac{Nu}{\phi N_y} \right]$$

$$\frac{428}{10} < \frac{1365}{\sqrt{250}} \left[1 - (1,54 \times 0,004) \right]$$

$$42,8 < 85,8$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Syarat kekuatan aksial terfaktor:

$$Nu \leq 0,15 \cdot N_y$$

$$1025,4 \text{ kg} \leq 0,9 \cdot 285500 \text{ kg}$$

$$1025,4 \text{ kg} < 42825 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK}$$

- c. Kontrol tegangan geser (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.2.4)

Kuat geser nominal *link* diambil nilai yang terkecil dari

$$V_p \text{ atau } \frac{2Mp}{V_p}$$

$$V_p = 70200 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{Menentukan}$$

$$V_n = \frac{2Mp}{e}$$

$$= \frac{2 \times 52409}{1,2}$$

$$= 87348,333 \text{ kg}$$

Maka kuat geser nominal *link* yang digunakan adalah 70200 kg.

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$53504 \text{ kg} \leq 0,9 \cdot 70200 \text{ kg}$$

$$53504 \text{ kg} < 63180 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{OK}$$

- d. Kontrol sudut rotasi *link* (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.2.4)

Dikarenakan panjang *link* $1,6 \frac{Mp}{Vp} < e < 2,6 \frac{Mp}{Vp}$, maka

sudut rotasi *link* harus diinterpolasikan dari nilai 0,08 radian untuk $e \leq 1,6 \frac{Mp}{Vp}$ dan 0,02 radian untuk $e \geq$

$1,6 \frac{Mp}{Vp}$, sehingga:

$$\begin{aligned}\gamma_p \text{ max} &= 0,08 + \left[\left(\frac{1,2 - 1,195}{1,941 - 1,195} \right) (0,02 - 0,08) \right] \\ &= 0,08 \text{ radian}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Diketahui: } L &= 8,7 \text{ m} = 870 \text{ cm} \\ \Delta e &= 0,219 \text{ cm (output SAP 2000 v19)} \\ Cd &= 4 \text{ (untuk EBF)} \\ e &= 1,2 \text{ m} = 120 \text{ cm} \\ h &= 4,8 \text{ m} = 480 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta &= Cd \times \Delta e \\ &= 4 \times 0,219 \\ &= 0,876 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma_p &= \left(\frac{L}{e} \right) \times \theta_p \\ &= \left(\frac{L}{e} \right) \times \frac{\Delta}{h} \\ &= \left(\frac{870}{120} \right) \times \frac{0,876}{480} \\ &= 0,013 \text{ radian}\end{aligned}$$

Syarat sudut rotasi *link* adalah sebagai berikut:

$$\begin{array}{llll}\gamma_p & < & \gamma_p \text{ max} \\ 0,013 \text{ radian} & < & 0,08 \text{ radian} & \rightarrow \text{ OK}\end{array}$$

- e. Pengaku *link* (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.3)

Di titik pertemuan dengan batang bresing, pada *link* harus dipasang pengaku setinggi badan *link* dan berada

di kedua sisi pelat badan *link*. Pengaku tersebut harus mempunyai lebar total tidak kurang dari $(bf - 2tw)$ dan ketebalan yang tidak kurang dari nilai terbesar dari $0,75tw$ atau 10 mm, dengan bf dan tw adalah lebar pelat sayap dan tebal pelat badan *link*.

Untuk $\gamma_p = 0,08$ radian, maka:

$$\begin{aligned} S &\leq 30tw - \frac{d}{5} \\ &\leq 30.10 - \frac{500}{5} \\ &\leq 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk $\gamma_p = 0,02$ radian, maka:

$$\begin{aligned} S &\leq 30tw - \frac{d}{5} \\ &\leq 52.10 - \frac{500}{5} \\ &\leq 420 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk $\gamma_p = 0,013$ radian, maka:

$$S \leq 420 \text{ mm}$$

Sehingga pengaku *link* dipasang dengan jarak 300 mm.

Link dengan panjang di antara $2,6 \frac{Mp}{Vp}$ dan $5 \frac{Mp}{Vp}$ harus

direncanakan memiliki pengaku antara berspasi $1,5bf$ dari setiap ujung *link*.

Sedangkan *link* dengan panjang di antara $1,6 \frac{Mp}{Vp}$ dan

$2,6 \frac{Mp}{Vp}$ harus direncanakan memiliki pengaku dengan

jarak yang memenuhi kedua jarak tersebut.

Sehingga pengaku *link* dipasang dengan jarak antar *link* 300 mm dan jarak pengaku *link* ke ujung *link*:

$$\begin{aligned} S &= 1,5bf \\ &= 1,5 \cdot 200 \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

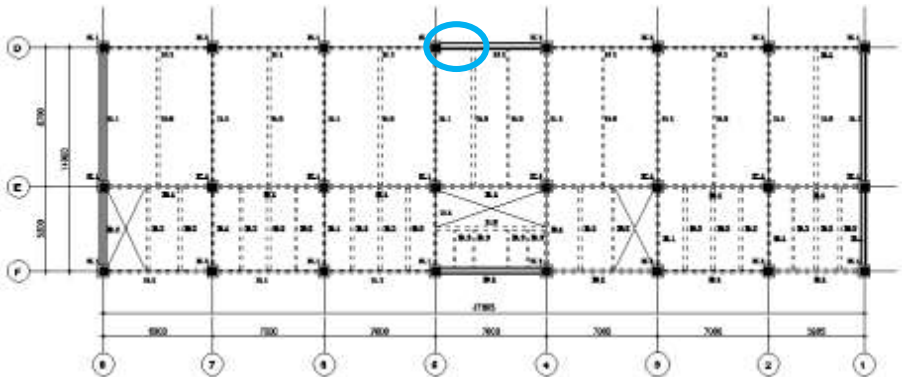
6.1.4 Balok di luar *Link*

6.1.4.1 Balok di luar *Link* Arah X

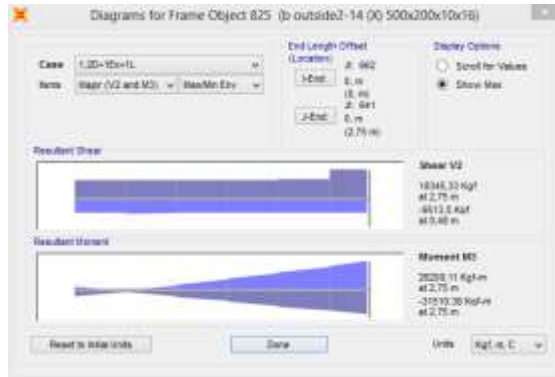
Pada lantai 1-14 arah X digunakan balok di luar *link* profil WF 500 x 200 x 10 x 16 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 89,7 \text{ kg/m} & Z_x &= 2096,36 \text{ cm}^3 & r &= 20 \text{ mm} \\
 A &= 114,2 \text{ cm}^2 & Z_y &= 331,7 \text{ cm}^3 & S_x &= 1910 \text{ cm}^3 \\
 t_w &= 10 \text{ mm} & i_x &= 20,5 \text{ cm} & S_y &= 214 \text{ cm}^3 \\
 t_f &= 16 \text{ mm} & i_y &= 4,33 \text{ cm} \\
 d &= 500 \text{ mm} & I_x &= 47800 \text{ cm}^4 \\
 b_f &= 200 \text{ mm} & I_y &= 2140 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 500 - (2 \times (16 + 20)) = 428 \text{ mm} \\
 h_o &= 500 - 16 = 484 \text{ mm} = 48,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada *frame* 825 akibat kombinasi pembebanan 1,2D+1Ex+1L.



Gambar 6. 16 Lokasi Balok Luar *Link* Frame 825



Gambar 6. 17 Diagram Gaya Geser pada Balok Luar *Link* *Frame* 825

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 BJ 41:
 $F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
 $F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$
 Panjang *link* = 1,5 m
 Panjang *frame* = 7 m
 $M_u = 31510,38 \text{ kg.m}$
 $N_u = 9013,13 \text{ kg}$

- a. Kuat perlu balok di luar *link* (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.6.2)

Kuat perlu balok yang terletak di luar *link* harus ditentukan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh balok paling tidak 1,1 kali kuat geser nominal *link* sebesar $R_y \cdot V_n$.

$$V_u = 1,1 \times R_y \times V_n$$

Didapatkan dari perhitungan *link* adalah sebagai berikut:

$$M_p = 52409 \text{ kg.m}$$

$$V_p = 70200 \text{ kg}$$

$$R_y = 1,5 \text{ (untuk BJ41)}$$

Dimana V_n diambil nilai yang terkecil antara V_p dan $\frac{2Mp}{e}$.

$$V_n = \frac{2Mp}{e} \\ = \frac{2 \times 52409}{1,5}$$

$$= 69878,667 \text{ kg} \rightarrow \text{Menentukan}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } V_u &= 1,1 \times R_y \times V_n \\ &= 1,1 \times 1,5 \times 69878,667 \\ &= 115299,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

- b. Kuat rencana geser (SNI 03-1729-2002, Tabel 15.7-1)
Kuat rencana geser balok di luar link ini dapat ditentukan menggunakan ketentuan kuat rencana yang dihitung dengan mengalikan faktor R_y .

$$\begin{array}{lcl} \text{Flange: } \lambda & < & \lambda_p \\ \frac{bf}{2tf} & < & \frac{135}{\sqrt{F_y}} \\ \frac{200}{2 \times 16} & < & \frac{135}{\sqrt{250}} \\ 6,25 & < & 8,538 \end{array}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

$$\begin{aligned} \text{Web: } N_y &= A_g \times F_y \\ &= 114,2 \times 2500 \\ &= 285500 \text{ kg} \\ \phi N_y &= 0,9 \cdot 285500 \\ &= 256950 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{lcl} \frac{N_u}{\phi N_y} & < & 0,125 \\ \frac{9013,13}{256950} & < & 0,125 \\ 0,0351 & < & 0,125 \end{array}$$

Dikarenakan $\frac{N_u}{\phi N_y} < 0,125$, sehingga:

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\begin{aligned}\frac{h}{tw} &< \frac{1365}{\sqrt{F_y}} \left[1 - 1,54 \frac{Nu}{\phi N_y} \right] \\ \frac{428}{10} &< \frac{1365}{\sqrt{250}} [1 - (1,54 \times 0,0351)] \\ 42,8 &< 81,667\end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak maka $M_n = M_p$

- Kapasitas momen penampang

$$\begin{aligned}M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 2096,36 \cdot 2500 \\ &= 5240900 \text{ kg.cm} \\ &= 52409 \text{ kg.m} \\ \phi M_n &= 0,9 \cdot 52409 \\ &= 47168 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

- Kapasitas geser penampang (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.8.2)

$$\begin{aligned}a &= \frac{L - e}{2} \\ &= \frac{700 - 150}{2} \\ &= 275 \text{ cm} \\ k_n &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \\ &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{275}{43}\right)^2} \\ &= 5,121\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{h}{tw} &\leq 1,1 \sqrt{\frac{k_n E}{F_y}} \\ \frac{428}{10} &\leq 1,1 \sqrt{\frac{5,121 \cdot 200000}{250}} \\ 42,8 &< 70,408\end{aligned}$$

→ penampang plastis

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,9 \cdot R_y \cdot 0,6 \cdot F_y \cdot d \cdot t_w \\
 &= 0,9 \cdot 1,5 \cdot 0,6 \cdot 250 \cdot 500 \cdot 10 \\
 &= 1012500 \text{ N} \\
 &= 101250 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol interaksi geser dan lentur (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.9.3)

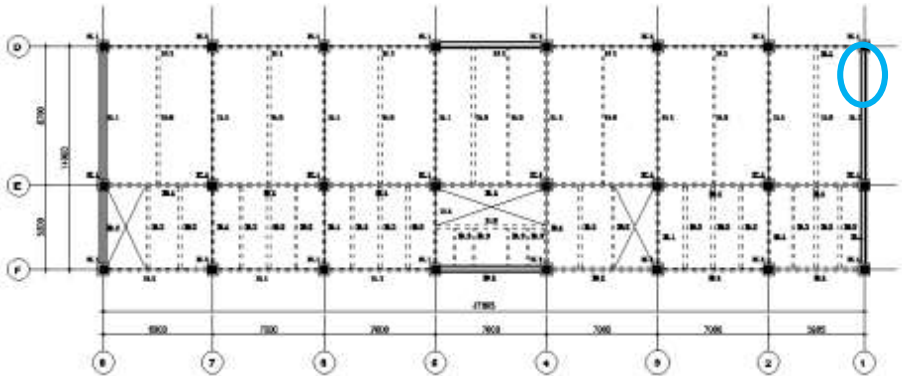
$$\begin{aligned}
 \frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} &\leq 1,375 \\
 \frac{31510,38}{47168} + 0,625 \frac{115300}{101250} &\leq 1,375 \\
 1,336 &< 1,375 \quad \rightarrow \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

6.1.4.2 Balok di luar *Link* Arah Y

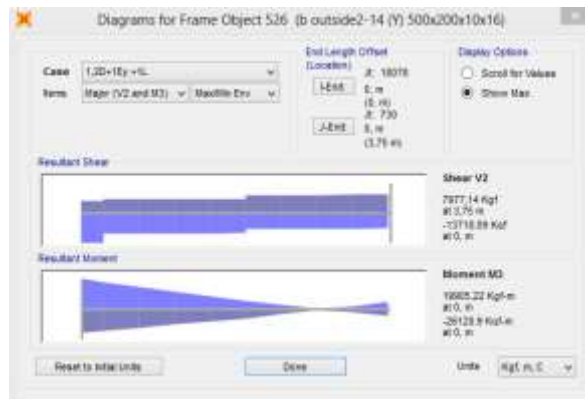
Pada lantai 1-14 arah Y digunakan balok di luar *link* profil WF 500 x 200 x 10 x 16 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 89,7 \text{ kg/m} & Z_x &= 2096,36 \text{ cm}^3 & r &= 20 \text{ mm} \\
 A &= 114,2 \text{ cm}^2 & Z_y &= 331,7 \text{ cm}^3 & S_x &= 1910 \text{ cm}^3 \\
 t_w &= 10 \text{ mm} & i_x &= 20,5 \text{ cm} & S_y &= 214 \text{ cm}^3 \\
 t_f &= 16 \text{ mm} & i_y &= 4,33 \text{ cm} \\
 d &= 500 \text{ mm} & I_x &= 47800 \text{ cm}^4 \\
 b_f &= 200 \text{ mm} & I_y &= 2140 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 500 - (2 \times (16 + 20)) = 428 \text{ mm} \\
 h_o &= 500 - 16 = 484 \text{ mm} = 48,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada *frame* 526 akibat kombinasi pembebanan 1,2D+1Ey+1L.



Gambar 6. 18 Lokasi Balok Luar *Link Frame 526*



Gambar 6. 19 Diagram Gaya Geser pada Balok Luar *Link Frame 526*

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 BJ 41:
 $F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
 $F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$
 Panjang *link* = 1,2 m
 Panjang *frame* = 8,7 m

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 26120,9 \text{ kg.m} \\ \text{Nu} &= 32014,99 \text{ kg} \end{aligned}$$

- a. Kuat perlu balok di luar *link* (SNI 03-1729-2002, Pasal 15.13.6.2)

Kuat perlu balok yang terletak di luar *link* harus ditentukan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh balok paling tidak 1,1 kali kuat geser nominal *link* sebesar $R_y \cdot V_n$.

$$V_u = 1,1 \times R_y \times V_n$$

Didapatkan dari perhitungan *link* adalah sebagai berikut:

$$M_p = 52409 \text{ kg.m}$$

$$V_p = 70200 \text{ kg} \quad \rightarrow \quad \text{Menentukan}$$

$$R_y = 1,5 \text{ (untuk BJ41)}$$

Dimana V_n diambil nilai yang terkecil antara V_p dan $\frac{2M_p}{e}$.

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{2M_p}{e} \\ &= \frac{2 \times 52409}{1,2} \\ &= 87348,333 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } V_u &= 1,1 \times R_y \times V_n \\ &= 1,1 \times 1,5 \times 70200 \\ &= 115830 \text{ kg} \end{aligned}$$

- b. Kuat rencana geser (SNI 03-1729-2002, Tabel 15.7-1)
Kuat rencana geser balok di luar *link* ini dapat ditentukan menggunakan ketentuan kuat rencana yang dihitung dengan mengalikan faktor R_y .

$$\begin{array}{lcl} \text{Flange: } \lambda & < & \lambda_p \\ \frac{b_f}{2t_f} & < & \frac{135}{\sqrt{F_y}} \\ \frac{200}{2 \times 16} & < & \frac{135}{\sqrt{250}} \end{array}$$

$$6,25 < 8,538$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

$$\begin{aligned} \text{Web: } N_y &= A_g \times F_y \\ &= 114,2 \times 2500 \\ &= 285500 \text{ kg} \\ \phi N_y &= 0,9 \cdot 285500 \\ &= 256950 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\frac{Nu}{\phi N_y} < 0,125$$

$$\frac{32014,99}{256950} < 0,125$$

$$0,1246 < 0,125$$

Dikarenakan $\frac{Nu}{\phi N_y} < 0,125$, sehingga:

$$\lambda < \lambda_p$$

$$\frac{h}{tw} < \frac{1365}{\sqrt{F_y}} \left[1 - 1,54 \frac{Nu}{\phi N_y} \right]$$

$$\frac{428}{10} < \frac{1365}{\sqrt{250}} \left[1 - (1,54 \times 0,1246) \right]$$

$$42,8 < 69,765$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak maka $M_n = M_p$

- Kapasitas momen penampang

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 2096,36 \cdot 2500 \\ &= 5240900 \text{ kg.cm} \\ &= 52409 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot 52409 \\ &= 47168 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

- Kapasitas geser penampang (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.8.2)

$$\begin{aligned} a &= \frac{L - e}{2} \\ &= \frac{870 - 120}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 375 \text{ cm} \\
 kn &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \\
 &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{375}{50}\right)^2} \\
 &= 5,089
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{h}{tw} &\leq 1,1 \sqrt{\frac{kn.E}{F_y}} \\
 \frac{428}{10} &\leq 1,1 \sqrt{\frac{5,089.200000}{250}} \\
 42,8 &< 70,186 \quad \rightarrow \text{penampang plastis} \\
 \phi V_n &= 0,9 \cdot R_y \cdot 0,6 \cdot F_y \cdot d \cdot tw \\
 &= 0,9 \cdot 1,5 \cdot 0,6 \cdot 250 \cdot 500 \cdot 10 \\
 &= 1012500 \text{ N} \\
 &= 101250 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kontrol interaksi geser dan lentur (SNI 03-1729-2002, Pasal 8.9.3)

$$\begin{aligned}
 \frac{Mu}{\phi Mn} + 0,625 \frac{Vu}{\phi V_n} &\leq 1,375 \\
 \frac{26120,9}{47168} + 0,625 \frac{115300}{101250} &\leq 1,375 \\
 1,27 &< 1,375 \quad \rightarrow \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

6.1.5 Bresing

6.1.5.1 Bresing Arah X

Pada lantai 1-14 arah X digunakan bresing profil WF 300 x 300 x 10 x 15 dengan spesifikasi sebagai berikut:

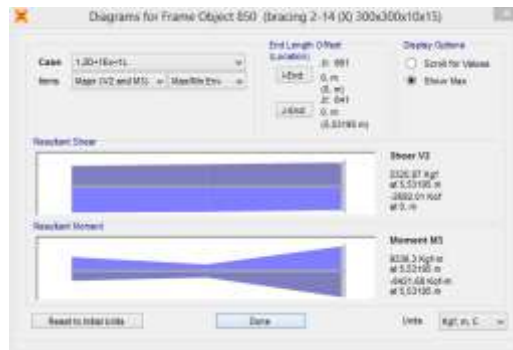
$$\begin{aligned}
 W &= 94 \text{ kg/m} & Z_x &= 1464,75 \text{ cm}^3 & r &= 18 \text{ mm} \\
 A &= 119,8 \text{ cm}^2 & Z_y &= 681,75 \text{ cm}^3 & S_x &= 1360 \text{ cm}^3 \\
 tw &= 10 \text{ mm} & i_x &= 13,1 \text{ cm} & S_y &= 450 \text{ cm}^3 \\
 tf &= 15 \text{ mm} & i_y &= 7,51 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= 300 \text{ mm} & I_x &= 20400 \text{ cm}^4 \\
 bf &= 300 \text{ mm} & I_y &= 6750 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 300 - (2 \times (15 + 18)) = 234 \text{ mm} \\
 h_o &= 300 - 15 = 285 \text{ mm} = 28,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

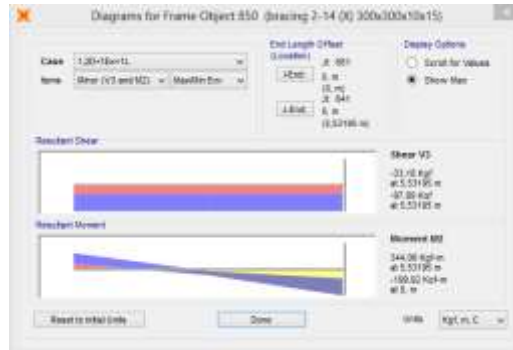
Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada frame 850 akibat kombinasi pembebanan 1,2D+1Ex+1L.



Gambar 6. 20 Lokasi Bresing *Frame* 850



Gambar 6. 21 Diagram Momen Arah X pada Bresing *Frame* 850



Gambar 6. 22 Diagram Momen Sumbu Y pada Bresing
Frame 850

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 BJ 41:
 $F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
 $F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$
 Panjang bresing $= \sqrt{275^2 + 480^2} = 553,2 \text{ cm}$
 $V_n = 69878,67 \text{ kg}$ (dari perhitungan *link*)
 $M_{ux} = 9336,3 \text{ kg.m}$
 $M_{uy} = 344,06 \text{ kg.m}$

Kuat kombinasi aksial dan lentur batang bresing harus direncanakan berdasarkan gaya aksial yang ditimbulkan oleh link yaitu sebesar $1,25 \times R_y \times V_n$ yang bertujuan untuk menjamin link adalah elemen terlemah dalam struktur dengan perumusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_u &= 1,25 \times R_y \times V_n \\ &= 1,25 \times 1,5 \times 69878,67 \\ &= 131022,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pu tekan} &= \frac{V_u}{\sin \alpha} \\ &= \frac{131022,5}{\sin 53,96^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 162034,52 \text{ kg} \\
 \text{Pu tarik} &= \frac{Vu}{\sin \alpha} \\
 &= \frac{131022,5}{\sin 53,96^\circ} \\
 &= 162034,52 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- a. Kontrol kuat lentur bresing (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

$$\begin{aligned}
 \text{Flange: } \lambda &< \lambda_p \\
 \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{300}{2 \times 15} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\
 10 &< 10,748
 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

$$\begin{aligned}
 \text{Web: } \lambda &< \lambda_p \\
 \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{234}{10} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\
 23,4 &< 106,35
 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Kapasitas momen penampang

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_x \cdot F_y \\
 &= 1464,75 \cdot 2500 \\
 &= 3661875 \text{ kg.cm} \\
 &= 36618,75 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi M_n \\
 9336,3 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 36618,75 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$9336,3 \text{ kg.m} < 32956,9 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}$$

- b. Kontrol penampang (SNI 03-1729-2002, Tabel 7.5-1)

$$\text{Flange: } \lambda < \lambda_r$$

$$\frac{bf}{2tf} < \frac{250}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{300}{2 \times 15} < \frac{250}{\sqrt{250}}$$

$$10 < 15,811$$

$\lambda < \lambda_r$, maka termasuk penampang non langsing

Web:

$$\lambda < \lambda_r$$

$$\frac{h}{tw} < \frac{665}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{234}{10} < \frac{665}{\sqrt{250}}$$

$$23,4 < 42,058$$

$\lambda < \lambda_r$, maka termasuk penampang non langsing

c. Kontrol kemampuan penampang (SNI 1729:2015, Pasal E3)

- Arah x:

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x}$$

$$= \frac{553,2}{13,1}$$

$$= 42,229$$

- Arah y:

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y}$$

$$= \frac{553,2}{7,51}$$

$$= 73,661$$

➔ Menentukan

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K.L}{r} \right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 2000000}{73,661^2}$$

$$= 3634,229 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}\frac{L_{ky}}{i} &\leq 4,71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ 73,661 &\leq 4,71\sqrt{\frac{2000000}{2500}} \\ 73,661 &< 133,22 \\ \text{Maka, } F_{cr} &= \left[0,685^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y \\ &= \left[0,685^{\frac{2500}{3634,2}} \right] 2500 \\ &= 1927,1 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

- Bresing Tarik

$$\begin{aligned}P_{\max} &= R_y \times F_y \times A_g \\ &= 1,5 \times 2500 \times 119,8 \\ &= 449250 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat: } P_u &< \phi_c \cdot P_n \\ 162034,52 \text{ kg} &< 0,9 \cdot 449250 \text{ kg} \\ 162034,52 \text{ kg} &< 404325 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Bresing tekan

$$\begin{aligned}P_{\max} &= 1,1 \times R_y \times F_{cr} \times A_g \\ &= 1,1 \times 1,5 \times 1927,1 \times 119,8 \\ &= 380936 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat: } P_u &< \phi_c \cdot P_n \\ 162034,52 \text{ kg} &< 0,9 \cdot 380936 \text{ kg} \\ 162034,52 \text{ kg} &< 342842 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

d. Kontrol interaksi aksial dan lentur (SNI 03-1729-2002 Pasal 12.5)

$$\begin{aligned}\text{Diketahui: } M_n &= 36619 \text{ kg.m} \\ \phi \cdot M_n &= 0,9 \cdot 36619 = 32956,875 \text{ kg.m} \\ P_n &= 380935,704 \text{ kg} \\ \phi \cdot P_n &= 0,9 \cdot 380935,704 = 342842,134 \text{ kg.m} \\ P_r &= 162034,52 \text{ kg} \\ M_{rx} &= 9336,3 \text{ kg.m} \\ M_{ry} &= 344,06 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{Pr}{P_c} &= \frac{Pr}{\Phi P_n} \\
 &= \frac{162034,52}{342842,134} \\
 &= 0,473
 \end{aligned}$$

Dikarenakan $\frac{Pr}{P_c} > 0,2$ maka rumus yang digunakan

adalah Persamaan 12.5-1.

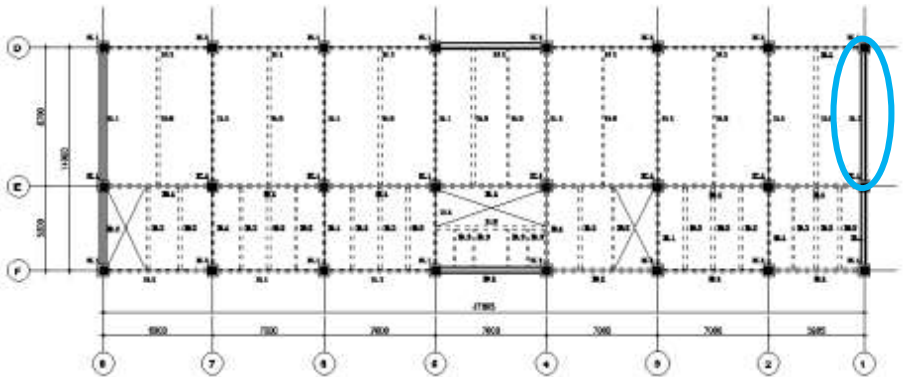
$$\begin{aligned}
 \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{rx}}{\phi M_n} + \frac{M_{ry}}{\phi M_n} \right] &\leq 1,0 \\
 0,473 + \frac{8}{9} \left[\frac{9336,3}{32956,875} + \frac{344,06}{32956,875} \right] &\leq 1,0 \\
 0,724 &< 1,0
 \end{aligned}$$

6.1.5.2 Bresing Arah Y

Pada lantai 1-14 arah Y digunakan bresing profil WF 300 x 300 x 10 x 15 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W &= 94 \text{ kg/m} & Z_x &= 1464,75 \text{ cm}^3 & r &= 18 \text{ mm} \\
 A &= 119,8 \text{ cm}^2 & Z_y &= 681,75 \text{ cm}^3 & S_x &= 1360 \text{ cm}^3 \\
 t_w &= 10 \text{ mm} & i_x &= 13,1 \text{ cm} & S_y &= 450 \text{ cm}^3 \\
 t_f &= 15 \text{ mm} & i_y &= 7,51 \text{ cm} \\
 d &= 300 \text{ mm} & I_x &= 20400 \text{ cm}^4 \\
 b_f &= 300 \text{ mm} & I_y &= 6750 \text{ cm}^4 \\
 h_w &= 300 - (2 \times (15 + 18)) = 234 \text{ mm} \\
 h_o &= 300 - 15 = 285 \text{ mm} = 28,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan gaya dalam terbesar terdapat pada frame 697 akibat kombinasi pembebanan 1,2D+1Ex+1L.



Gambar 6. 23 Lokasi Bresing *Frame* 697



Gambar 6. 24 Diagram Momen Arah X pada Bresing
Frame 697



Gambar 6. 25 Diagram Momen Sumbu Y pada Bresing
Frame 697

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 BJ 41:
 $F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
 $F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$
 Panjang bresing $= \sqrt{375^2 + 480^2} = 609,12 \text{ cm}$
 $V_n = 70200 \text{ kg}$ (dari perhitungan *link*)
 $M_{ux} = 2979,77 \text{ kg.m}$
 $M_{uy} = 205,55 \text{ kg.m}$

Kuat kombinasi aksial dan lentur batang bresing harus direncanakan berdasarkan gaya aksial yang ditimbulkan oleh link yaitu sebesar $1,25 \times R_y \times V_n$ yang bertujuan untuk menjamin link adalah elemen terlemah dalam struktur dengan perumusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_u &= 1,25 \times R_y \times V_n \\ &= 1,25 \times 1,5 \times 70200 \\ &= 131625 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ tekan} = \frac{V_u}{\sin \alpha}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{131625}{\sin 53,96^\circ} \\
 &= 162779,6 \text{ kg} \\
 \text{Pu tarik} &= \frac{Vu}{\sin \alpha} \\
 &= \frac{131625}{\sin 53,96^\circ} \\
 &= 162779,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

a. Kontrol kuat lentur bresing (SNI 1729:2015, Tabel B4.1 dan Pasal F2)

$$\begin{aligned}
 \text{Flange: } \lambda &< \lambda_p \\
 \frac{bf}{2tf} &< 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{300}{2 \times 15} &< 0,38 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\
 10 &< 10,748
 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

- Elemen dengan pengaku

$$\begin{aligned}
 \text{Web: } \lambda &< \lambda_p \\
 \frac{h}{tw} &< 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{234}{10} &< 3,76 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} \\
 23,4 &< 106,35
 \end{aligned}$$

$\lambda < \lambda_p$, maka termasuk penampang kompak

Dikarenakan penampang kompak, maka $M_n = M_p$

- Kapasitas momen penampang

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_x \cdot F_y \\
 &= 1464,75 \cdot 2500 \\
 &= 3661875 \text{ kg.cm} \\
 &= 36618,75 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi M_n \\
 2979,77 \text{ kg.m} &\leq 0,9 \cdot 36618,75 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$2979,77 \text{ kg.m} < 32956,9 \text{ kg.m} \rightarrow \text{OK}$$

b. Kontrol penampang (SNI 03-1729-2002, Tabel 7.5-1)

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Flange: } \lambda & < & \lambda_r \\
 \frac{bf}{2tf} & < & \frac{250}{\sqrt{F_y}} \\
 \frac{300}{2 \times 15} & < & \frac{250}{\sqrt{250}} \\
 10 & < & 15,811
 \end{array}$$

$\lambda < \lambda_r$, maka termasuk penampang non langsing

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Web: } \lambda & < & \lambda_r \\
 \frac{h}{tw} & < & \frac{665}{\sqrt{F_y}} \\
 \frac{234}{10} & < & \frac{665}{\sqrt{250}} \\
 23,4 & < & 42,058
 \end{array}$$

$\lambda < \lambda_r$, maka termasuk penampang non langsing

c. Kontrol kemampuan penampang (SNI 1729:2015, Pasal E3)

• Arah x:

$$\begin{aligned}
 \lambda_x &= \frac{L_{kx}}{i_x} \\
 &= \frac{609,12}{13,1} \\
 &= 46,498
 \end{aligned}$$

• Arah y:

$$\begin{aligned}
 \lambda_y &= \frac{L_{ky}}{i_y} \\
 &= \frac{609,12}{7,51} \\
 &= 81,108
 \end{aligned}$$

➔ Menentukan

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r} \right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 2000000}{81,108^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2997,547 \text{ kg/cm}^2 \\
 \frac{L_{ky}}{i} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 81,11 &\leq 4,71 \sqrt{\frac{2000000}{2500}} \\
 81,11 &< 133,22 \\
 \text{Maka, } F_{cr} &= \left[0,685 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \\
 &= \left[0,685 \frac{2500}{2997,5} \right] 2500 \\
 &= 1823,5 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Bresing Tarik

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= R_y \times F_y \times A_g \\
 &= 1,5 \times 2500 \times 119,8 \\
 &= 449250 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat: } P_u &< \phi_c \cdot P_n \\
 162779,62 \text{ kg} &< 0,9 \cdot 449250 \text{ kg} \\
 162779,62 \text{ kg} &< 404325 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Bresing tekan

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= 1,1 \times R_y \times F_{cr} \times A_g \\
 &= 1,1 \times 1,5 \times 1927,1 \times 119,8 \\
 &= 380936 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat: } P_u &< \phi_c \cdot P_n \\
 162779,62 \text{ kg} &< 0,9 \cdot 380936 \text{ kg} \\
 162779,62 \text{ kg} &< 342842 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

d. Kontrol interaksi aksial dan lentur (SNI 03-1729-2002 Pasal 11.3)

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui: } M_n &= 36619 \text{ kg.m} \\
 \phi \cdot M_n &= 0,9 \cdot 36619 = 32956,875 \text{ kg.m} \\
 P_n &= 360449,306 \text{ kg} \\
 \phi \cdot P_n &= 0,9 \cdot 360449,306 = 324404,376 \text{ kg.m} \\
 P_r &= 162779,6 \text{ kg} \\
 M_{rx} &= 2979,77 \text{ kg.m} \\
 M_{ry} &= 205,55 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{Pr}{Pc} &= \frac{Pr}{\Phi Pn} \\ &= \frac{162779,6}{324404,376} \\ &= 0,502\end{aligned}$$

Dikarenakan $\frac{Pr}{Pc} > 0,2$ maka rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{rx}}{\phi Mn} + \frac{M_{ry}}{\phi Mn} \right] &\leq 1,0 \\ 0,502 + \frac{8}{9} \left[\frac{2979,77}{32956,875} + \frac{205,55}{32956,875} \right] &\leq 1,0 \\ 0,582 &< 1,0\end{aligned}$$

Tabel 6. 1 Rekap Dimensi Struktur Primer

ELEMEN	LANTAI	ARAH	PROFIL YANG DIGUNAKAN
Balok Induk	Top atap	x y	WF 400 x 200 x 8 x 13
	Atap	x y	WF 500 x 200 x 9 x 14
	2-14	x y	WF 600 x 200 x 10 x 15
	1	x y	WF 600 x 200 x 11 x 17
Kolom	1-8	-	CFT 700 x 700 x 25
	9 - top atap	-	CFT 600 x 600 x 25
Link	Top atap	x y	WF 400 x 200 x 8 x 13
	Atap	x y	WF 400 x 200 x 8 x 13

	2-14	x	WF 500 x 200 x 10 x 16
		y	
	1	x y	WF 500 x 200 x 10 x 16
Balok di luar Link	Top atap	x y	WF 400 x 200 x 8 x 13
	Atap	x y	WF 400 x 200 x 8 x 13
	2-14	x y	WF 500 x 200 x 10 x 16
	1	x y	WF 500 x 200 x 10 x 16
Bresing	Top atap	x y	WF 250 x 250 x 9 x 14
	Atap	x y	WF 250 x 250 x 9 x 14
	2-14	x y	WF 300 x 300 x 10 x 15
	1	x y	WF 300 x 300 x 10 x 15

6.1.6 Sambungan

6.1.6.1 Sambungan Balok Anak dengan Balok Induk

Sambungan balok induk dengan balok anak merupakan sambungan sendi. Sambungan tersebut didesain hanya untuk menerima beban geser dari balok anak.

Direncanakan sambungan pada balok induk dengan balok anak menggunakan sambungan baut dengan mutu baut A325.

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

BJ 41:

$$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

Mutu baut A325:

$$F_u^b = 825 \text{ MPa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing \text{ baut} = 16 \text{ mm}$$

$$A_b = 2,011 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0,5$$

$$m = 1$$

$$\text{Lubang bor baut} = 2 \text{ mm}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 17.3.6)

$$V_u \text{ balok anak} = 14154,04 \text{ kg}$$

$$V_u \text{ balok induk} = 16254,32 \text{ kg}$$

Digunakan pelat siku dimensi 50x50x7 dengan spesifikasi tebal dan panjang pelat sebagai berikut:

$$t_p = 7 \text{ mm}$$

$$p \text{ pelat} = 15 \text{ cm}$$

a. Sambungan siku dengan balok anak

- Kuat geser baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

$$V_n = r_1 \cdot F_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$= 0,5 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot 2,011$$

$$= 8293,805 \text{ kg}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 8293,805 \text{ kg}$$

$$= 6220,35 \text{ kg} \rightarrow \text{menentukan}$$

- Kuat tumpu baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$= 2,4 \cdot 1,6 \cdot 0,7 \cdot 4100$$

$$= 11020,8 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 11020,8 \text{ kg}$$

$$= 8265,6 \text{ kg}$$

Berdasarkan kuat geser dan kuat tumpu diatas diambil nilai terkecil diantara keduanya, maka kuat nominal baut sebesar 6220,35 kg.

- Jumlah baut

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Vu}{\phi Vn} \\
 &= \frac{14154,04}{6220,35} \\
 &= 2,3 \approx 3
 \end{aligned}$$

Maka sambungan siku dengan balok anak digunakan baut sejumlah 3 buah.

b. Sambungan siku dengan balok induk

- Kuat geser baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 Vn &= r_1 \cdot Fu^b \cdot m \cdot Ab \\
 &= 0,5 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot 2,011 \\
 &= 8293,805 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Vn &= 0,75 \times 8293,805 \text{ kg} \\
 &= 6220,35 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{menentukan}
 \end{aligned}$$

- Kuat tumpu baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

$$\begin{aligned}
 Rn &= 2,4 \cdot db \cdot tp \cdot Fu \\
 &= 2,4 \cdot 1,6 \cdot 0,7 \cdot 4100 \\
 &= 11020,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Rn &= 0,75 \times 11020,8 \text{ kg} \\
 &= 8265,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan kuat geser dan kuat tumpu diatas diambil nilai terkecil diantara keduanya, maka kuat nominal baut sebesar 6220,35 kg.

- Jumlah baut

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Vu}{\phi Vn} \\
 &= \frac{16254,32}{6220,35} \\
 &= 2,6 \approx 3
 \end{aligned}$$

Maka sambungan siku dengan balok induk digunakan baut sejumlah 3 buah.

c. Jarak pemasangan baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.4)

- Jarak antar baut (S)

$$3db \leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \cdot 16 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \leq 15 \cdot 7 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$48 \text{ mm} < 50 \text{ mm} < 105 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

- Jarak baut ke tepi (S_1)

$$1,5db \leq S_1 \leq 4tp + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \cdot 16 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \leq 4 \cdot 7 + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$24 \text{ mm} < 25 \text{ mm} < 128 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Maka jarak antar baut yang digunakan adalah $S = 50$ mm dan jarak baut ke tepi $S_1 = 25$ mm.

d. Kontrol siku penyambung

- Kontrol leleh

$$A_g = tp \cdot p \text{ pelat}$$

$$= 0,7 \cdot 15$$

$$= 11 \text{ cm}^2$$

$$\phi T_n = \phi \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 0,9 \cdot 2500 \cdot 11$$

$$= 23625 \text{ kg}$$

$$T_u \leq \phi T_n$$

$$16254,32 \text{ kg} < 23625 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol patah (geser *block*)

$$\emptyset \text{ lubang baut} = \emptyset \text{ baut} + 2$$

$$= 16 + 2$$

$$= 18 \text{ mm}$$

$$A_{nv} = L_{nv} \cdot tp$$

$$= (L - n \cdot \emptyset \text{ lubang baut}) \cdot tp$$

$$= (15 - 3 \cdot 1,8) \cdot 0,7$$

$$= 6,72 \text{ cm}^2$$

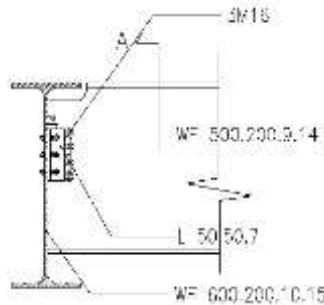
$$\phi T_n = \phi \cdot F_u \cdot A_{nv}$$

$$= 0,75 \cdot 4100 \cdot 6,72$$

$$= 20664 \text{ kg}$$

$$T_u \leq \phi T_n$$

$$16254,32 \text{ kg} < 20664 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 6. 26 Detail Sambungan Balok Induk Balok Anak

6.1.6.2 Sambungan Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Bordes

Sambungan balok utama tangga dengan balok penumpu tangga merupakan sambungan rol. Sambungan tersebut didesain hanya untuk menerima beban geser dan momen dari balok utama tangga.

Direncanakan sambungan pada balok utama tangga dengan balok penumpu bordes menggunakan sambungan baut dengan mutu baut A325.

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

BJ 41:

$$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

Mutu baut A325:

$$F_u^b = 825 \text{ MPa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing \text{ baut} = 12 \text{ mm}$$

$$A_b = 1,131 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0,5$$

$$m = 1$$

$$\text{Lubang bor baut} = 2 \text{ mm}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 17.3.6)

$$V_u = 1355,07 \text{ kg}$$

Digunakan pelat siku dimensi 50x50x5 dengan spesifikasi tebal dan panjang pelat sebagai berikut:

$$tp = 5 \text{ mm}$$

$$p \text{ pelat} = 10 \text{ cm}$$

a. Sambungan siku dengan balok utama tangga

- Kuat geser baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

$$\begin{aligned} V_n &= r_1 \cdot F_u^b \cdot m \cdot A_b \\ &= 0,5 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot 1,1131 \\ &= 4665,27 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \times 4665,27 \text{ kg} \\ &= 3498,95 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{menentukan} \end{aligned}$$

- Kuat tumpu baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \\ &= 2,4 \cdot 1,6 \cdot 0,5 \cdot 4100 \\ &= 5904 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 5904 \text{ kg} \\ &= 4428 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan kuat geser dan kuat tumpu diatas diambil nilai terkecil diantara keduanya, maka kuat nominal baut sebesar 3498,95 kg.

- Jumlah baut

$$\begin{aligned} n &= \frac{V_u}{\phi V_n} \\ &= \frac{1355,07}{3498,95} \\ &= 0,4 \approx 2 \end{aligned}$$

Maka sambungan siku dengan balok utama tangga digunakan baut sejumlah 2 buah.

b. Sambungan siku dengan balok penumpu bordes

- Kuat geser baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

$$\begin{aligned} V_n &= r_1 \cdot F_u^b \cdot m \cdot A_b \\ &= 0,5 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot 1,131 \\ &= 4665,27 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 4665,27 \text{ kg} \\ = 3498,95 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{menentukan}$$

- Kuat tumpu baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \\ = 2,4 \cdot 1,2 \cdot 0,5 \cdot 4100 \\ = 5904 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 5904 \text{ kg} \\ = 4428 \text{ kg}$$

Berdasarkan kuat geser dan kuat tumpu diatas diambil nilai terkecil diantara keduanya, maka kuat nominal baut sebesar 3498,95 kg.

- Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n} \\ = \frac{1355,07}{3498,95} \\ = 0,4 \approx 2$$

Maka sambungan siku dengan balok penumpu bordes digunakan baut sejumlah 2 buah.

- c. Jarak pemasangan baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.4)

- Jarak antar baut (S)

$$3d_b \leq S \leq 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \cdot 16 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \leq 15 \cdot 7 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$48 \text{ mm} < 50 \text{ mm} < 105 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

- Jarak baut ke tepi (S_1)

$$1,5d_b \leq S_1 \leq 4t_p + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \cdot 16 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \leq 4 \cdot 7 + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$24 \text{ mm} < 25 \text{ mm} < 128 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Maka jarak antar baut yang digunakan adalah $S = 50$ mm dan jarak baut ke tepi $S_1 = 25$ mm.

- d. Kontrol siku penyambung

- Kontrol leleh

$$A_g = t_p \cdot p \text{ pelat}$$

$$= 0,5 \cdot 10$$

$$= 5 \text{ cm}^2$$

$$\phi T_n = \phi \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 0,9 \cdot 2500 \cdot 5$$

$$= 11250 \text{ kg}$$

$$T_u \leq \phi T_n$$

$$1355,07 \text{ kg} < 11250 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol patah (geser *block*)

$$\phi \text{ lubang baut} = \phi \text{ baut} + 2$$

$$= 12 + 2$$

$$= 14 \text{ mm}$$

$$A_{nv} = L_{nv} \cdot t_p$$

$$= (L - n \cdot \phi \text{ lubang baut}) \cdot t_p$$

$$= (10 - 2 \cdot 1,4) \cdot 0,5$$

$$= 3,6 \text{ cm}^2$$

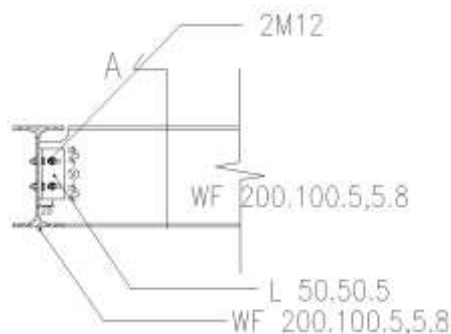
$$\phi T_n = \phi \cdot F_u \cdot A_{nv}$$

$$= 0,75 \cdot 4100 \cdot 3,6$$

$$= 11070 \text{ kg}$$

$$T_u \leq \phi T_n$$

$$1355,07 \text{ kg} < 11070 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 6. 27 Detail Sambungan Balok Utama Tangga dengan Balok Penumpu Bordes

6.1.6.3 Sambungan Balok Penumpu Bordes dengan Kolom

Sambungan balok penumpu bordes dengan kolom merupakan sambungan sendi. Sambungan tersebut didesain hanya untuk menerima beban geser dari balok utama tangga.

Direncanakan sambungan pada balok penumpu bordes dengan kolom menggunakan sambungan baut dengan mutu baut A325 dan las .

$$\text{Diketahui: } E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

BJ 41:

$$F_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 410 \text{ MPa} = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

Mutu baut A325:

$$F_u^b = 825 \text{ MPa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing \text{ baut} = 16 \text{ mm}$$

$$A_b = 2,011 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0,5$$

$$m = 1$$

$$\text{Lubang bor baut} = 2 \text{ mm}$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 17.3.6)

$$V_u = 1355,07 \text{ kg}$$

Digunakan pelat siku dimensi 50x50x4 dengan spesifikasi tebal dan panjang pelat sebagai berikut:

$$t_p = 4 \text{ mm}$$

$$p \text{ pelat} = 10 \text{ cm}$$

a. Kontrol pelat sambung (Tabel K1.2 SNI 1729-2015)

$$t_p \leq \frac{F_u}{F_{y_p}} t$$

$$0,5 \leq \frac{4100}{2500} \cdot 2,5$$

$$0,5 < 4,1 \text{ cm} \quad \rightarrow \text{OK}$$

b. Sambungan pelat sambung dengan balok penumpu bordes

- Kuat geser baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 V_n &= r_1 \cdot F_u^b \cdot m \cdot A_b \\
 &= 0,5 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot 2,011 \\
 &= 8293,805 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 \times 8293,805 \text{ kg} \\
 &= 6220,35 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Kuat tumpu baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \\
 &= 2,4 \cdot 1,6 \cdot 0,5 \cdot 4100 \\
 &= 7872 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \times 7872 \text{ kg} \\
 &= 5904 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

→ menentukan

Berdasarkan kuat geser dan kuat tumpu diatas diambil nilai terkecil diantara keduanya, maka kuat nominal baut sebesar 5904 kg.

- Jumlah baut

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{V_u}{\phi V_n} \\
 &= \frac{1355,07}{5904} \\
 &= 0,23 \approx 2
 \end{aligned}$$

Maka sambungan pelat sambung dengan balok penumpu bordes digunakan baut sejumlah 2 buah.

- c. Jarak pemasangan baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.4)

- Jarak antar baut (S)

$$3d_b \leq S \leq 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \cdot 16 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \leq 15 \cdot 4 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$48 \text{ mm} < 50 \text{ mm} < 60 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Maka jarak antar baut yang digunakan adalah $S = 50 \text{ mm}$.

- Jarak baut ke tepi (S_1)

$$1,5d_b \leq S_1 \leq 4t_p + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \cdot 16 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \leq 4 \cdot 7 + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$24 \text{ mm} < 25 \text{ mm} < 116 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Maka jarak antar baut yang digunakan adalah $S = 50$ mm dan jarak baut ke tepi $S_1 = 25$ mm.

- d. Sambungan pelat sambung dengan balok penumpu bordes

Sambungan pelat sambung dengan balok penumpu bordes digunakan las dengan mutu F_{E70XX} dengan keterangan sebagai berikut:

$$F_{u_w} = 4921 \text{ kg/cm}^2$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_w &= 2 \cdot 0,707 \cdot a \cdot l_w \\ &= 2 \cdot 0,707 \cdot 0,4 \cdot 100 \\ &= 5,66 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{n_w} &= 0,6 \cdot F_{u_w} \\ &= 0,6 \cdot 4921 \\ &= 2952,6 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= F_{n_w} \cdot A_w \\ &= 2952,6 \cdot 5,66 \\ &= 16699,91 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi R_n \\ 1355,1 \text{ kg} &\leq 0,75 \cdot 16699,91 \text{ kg} \\ 1355,1 \text{ kg} &< 12524,93 \text{ kg} \end{aligned}$$

- e. Kontrol siku penyambung

- Kontrol leleh

$$\begin{aligned} A_g &= t_p \cdot p \text{ pelat} \\ &= 0,4 \cdot 10 \\ &= 4 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi T_n &= \phi \cdot F_y \cdot A_g \\ &= 0,9 \cdot 2500 \cdot 4 \\ &= 9000 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_u &\leq \phi T_n \\ 1355,1 \text{ kg} &< 9000 \text{ kg} \end{aligned} \quad \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol patah (geser *block*)

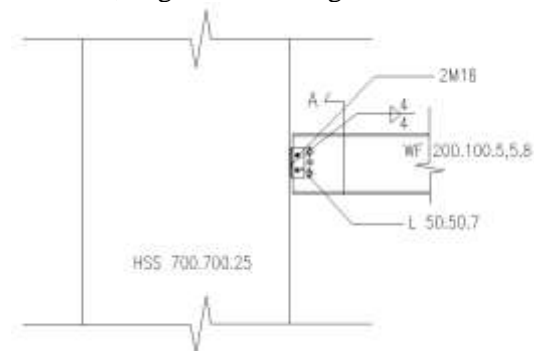
$$\begin{aligned}\varnothing \text{ lubang baut} &= \varnothing \text{ baut} + 2 \\ &= 16 + 2 \\ &= 18 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{nv} &= L_{nv} \cdot t_p \\ &= (L - n \cdot \varnothing \text{ lubang baut}) \cdot t_p \\ &= (10 - 2 \cdot 1,8) \cdot 0,4 \\ &= 2,56 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi \cdot F_u \cdot A_{nv} \\ &= 0,75 \cdot 4100 \cdot 2,56 \\ &= 7872 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_u &\leq \phi T_n \\ 1355,1 \text{ kg} &< 7872 \text{ kg}\end{aligned}$$

→ OK



Gambar 6. 28 Detail Sambungan Balok Penumpu Bordes dengan Kolom

6.1.6.4 Sambungan Kolom CFT 700.700.25.25 dengan Kolom CFT 700.700.25.25

Sambungan kolom CFT 700.700.25.25 dengan kolom CFT 700.700.25.25 direncanakan pada lantai 1 menggunakan las penetrasi penuh dengan mutu F_{e100XX} . Gaya-gaya yang bekerja pada sambungan adalah akibat dari beban mati dan beban seismik akibat komponen vertikal. Sambungan ditempatkan pada posisi tengah dari

ketinggian lantai. Spesifikasi sambungan las adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{uw} &= 7030 \text{ kg/cm}^2 \\
 F_y &= 2900 \text{ kg/cm}^2 \\
 t_e &= 8 \text{ mm} \\
 l_w &= 2800 \text{ mm} \\
 \text{Diketahui: } E &= 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\
 \mu_u &= 20690,35 \text{ kg.m} \\
 P_u &= 819074,88 \text{ kg} \\
 V_u &= 8302,31 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Keterangan kolom CFT dengan profil HSS:

$$\begin{aligned}
 A &= 646 \text{ cm}^2 & Z_x &= 13650 \text{ cm}^3 & I_x &= 477900 \text{ cm}^4 \\
 t_w &= 25 \text{ mm} & Z_y &= 13650 \text{ cm}^3 & I_y &= 477900 \text{ cm}^4 \\
 t_f &= 25 \text{ mm} & i_x &= 27,2 \text{ cm} \\
 d &= 700 \text{ mm} & i_y &= 27,2 \text{ cm} \\
 b &= 700 \text{ mm} & r &= 75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

a. Gaya yang bekerja pada sambungan las

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{M_u}{d_c} \pm P_u \\
 &= \frac{20690,35}{0,7} \pm 819074,9
 \end{aligned}$$

$$T_u^+ = 848632,5 \text{ kg}$$

$$T_u^- = -789517,2 \text{ kg}$$

b. Kekuatan las tumpul penetrasi penuh

$$\begin{aligned}
 F_{nw} &= F_{uw} \\
 &= 7300 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= l_w \cdot t_e \\
 &= 280 \cdot 0,8 \\
 &= 224 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nw} \cdot A_w \\
 &= 7300 \cdot 224 \\
 &= 1574720 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 1574720$$

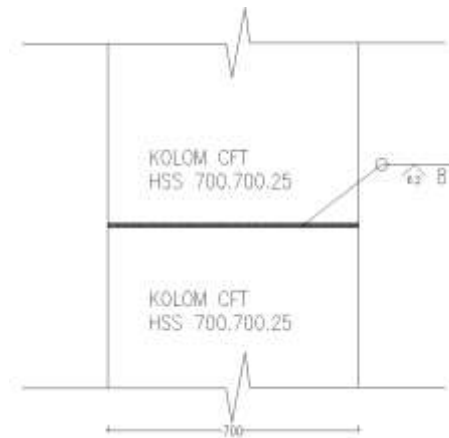
$$= 1259776 \text{ kg}$$

c. Kontrol tegangan las

$$\left(\frac{V_u}{\phi R_n} \right)^2 + \left(\frac{T_u}{\phi R_n} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{8302,31}{1259776} \right)^2 + \left(\frac{848632,5}{1259776} \right)^2 \leq 1,0$$

$$0,454 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 6. 29 Detail Sambungan Kolom CFT 700.700.25.25 dengan Kolom CFT 700.700.25.25

6.1.6.5 Sambungan Kolom CFT 700.700.25.25 dengan Kolom CFT 600.600.25.25

Sambungan kolom CFT 700.700.25.25 dengan kolom CFT 600.600.25.25 direncanakan pada lantai 1 menggunakan las tumpul penetrasi penuh dengan mutu F_{e70XX} . Gaya-gaya yang bekerja pada sambungan adalah akibat dari beban mati dan beban seismik akibat komponen vertikal. Sambungan ditempatkan pada posisi tengah dari

ketinggian lantai. Spesifikasi sambungan las adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{uw} &= 4921 \text{ kg/cm}^2 \\
 F_y &= 2900 \text{ kg/cm}^2 \\
 t_e &= 5 \text{ mm} \\
 l_w &= 2400 \text{ mm} \\
 \text{Diketahui: } E &= 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\
 F'_c &= 25 \text{ MPa} = 250 \text{ kg/cm}^2 \\
 M_u &= 11845,74 \text{ kg.m} \\
 P_u &= 423728,8 \text{ kg} \\
 V_u &= 7574,55 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Keterangan kolom CFT 1 dengan profil HSS:

$$\begin{aligned}
 d &= 700 \text{ mm} & t_w &= 25 \text{ mm} \\
 b &= 700 \text{ mm} & t_f &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Keterangan kolom CFT 1 dengan profil HSS:

$$\begin{aligned}
 d &= 600 \text{ mm} & t_w &= 25 \text{ mm} \\
 b &= 600 \text{ mm} & t_f &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

a. Sambungan las pada kolom

- Kontrol tegangan las akibat P_u dan M_u :

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{M_u \pm P_u}{d_c} \\
 &= \frac{11845,74}{0,6} + 423728,8
 \end{aligned}$$

$$T_u^+ = 443471,7 \text{ kg}$$

$$T_u^- = -403985,9 \text{ kg}$$

- Kekuatan las tumpul penetrasi penuh

$$\begin{aligned}
 F_{nw} &= F_{uw} \\
 &= 4921 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= l_w \cdot t_e \\
 &= 240 \cdot 0,5 \\
 &= 120 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nw} \cdot A_w \\
 &= 4921 \cdot 120
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 590520 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,8 \cdot 590520 \\
 &= 472416 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Kontrol tegangan las

$$\left(\frac{V_u}{\phi R_n} \right)^2 + \left(\frac{T_u}{\phi R_n} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{7574,55}{472416} \right)^2 + \left(\frac{443471,7}{472416} \right)^2 \leq 1,0$$

$$0,881 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

- b. Perhitungan ketebalan pelat landas

Direncanakan pelat landas sama dengan dimensi kolom CFT 700x700.

$$\begin{aligned}
 f_{p \max} &= \phi_c \cdot 0,85 \cdot f'_c \\
 &= 0,65 \cdot 0,85 \cdot 25 \\
 &= 13,812 \text{ MPa} \\
 &= 138,12 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\max} &= f_{p \max} \cdot B \\
 &= 138,12 \cdot 70 \\
 &= 9668,4 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{P_u}{q_{\max}} \\
 &= \frac{423728,8}{9668,4} \\
 &= 43,826 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Sisi desak : pelat kantilever $m = 5 \text{ cm} < Y = 43,836 \text{ cm}$, maka tebal pelat landasan untuk memikul gaya reaksi beton adalah :

$$\begin{aligned}
 f_p &= \frac{P_u}{B \cdot Y} \\
 &= \frac{423728,8}{70 \cdot 43,826} \\
 &= 138,12 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_p &\geq 1,5m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \\
 &\geq 1,5 \times 5 \sqrt{\frac{138,12}{2500}} \\
 &\geq 1,76 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka tebal pelat landasan yang dipakai adalah 2 cm.

c. Perhitungan pelat pengaku

- Dimensi pelat pengaku (SNI 03-1729-2002 Pasal 8.11.3)

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan: } b_s &= 100 \text{ mm} \\
 t_s &= 15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Persyaratan 1:

$$\begin{aligned}
 t_s &\geq 0,5t_f \\
 15 \text{ mm} &\geq 0,5 \cdot 25 \text{ mm} \\
 15 \text{ mm} &> 12,5 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Persyaratan 2:

$$\begin{aligned}
 \frac{b_s}{t_s} &\leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{100}{15} &\leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
 6,7 \text{ mm} &< 15,8 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dimensi pelat pengaku memenuhi dua persyaratan tersebut dengan lebar (b_s) = 100 mm dan tebal (t_s) = 15 mm.

- Kuat sambungan las pada pelat pengaku
Sambungan pada pelat pengaku direncanakan menggunakan las sudut dengan perencanaan kuat nominal sambungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui: } a &= 6 \text{ mm} \\
 l_w &= 100 \text{ mm} \\
 F_{u_w} &= 4921 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$F_{n_w} = 0,6 \cdot F_{u_w}$$

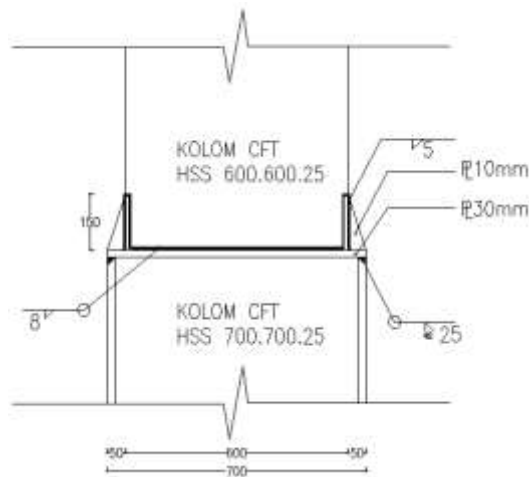
$$\begin{aligned}
 &= 0,6 \cdot 4921 \\
 &= 2952,6 \text{ kg/cm}^2 \\
 A_w &= 2 \cdot 0,707 \cdot a \cdot l_w \\
 &= 2 \cdot 0,707 \cdot 0,6 \cdot 10 \\
 &= 8,48 \text{ cm}^2 \\
 R_n &= F_{n_w} \cdot A_w \\
 &= 2952,6 \cdot 8,48 \\
 &= 25049,86 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol kuat nominal las:

$$V_u < \phi R_n$$

$$7574,6 \text{ kg} < 0,8 \cdot 25049,86$$

$$7574,6 \text{ kg} < 18787,39 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 6. 30 Detail Sambungan Kolom CFT 700.700.25.25 dengan Kolom CFT 700.700.25.2

6.1.6.6 Sambungan Kolom dengan Balok Induk

Sambungan pada kolom dengan balok induk direncanakan menggunakan 2 jenis yaitu sambungan pen geser sebagai penumpu pada saat proses pengelasan dan

sambungan *rigid* dengan alat sambung las dan baut sebagai penumpu beban.

Sambungan las yang digunakan adalah tipe las F_{e70XX} dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$F_{u_w} = 4921 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 2900 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Diketahui: } E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_u = 39003,5 \text{ kg.m}$$

$$V_u = 16254,32 \text{ kg}$$

a. Sambungan pen geser

- Data perencanaan sambungan

Digunakan baut mutu A325 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$F_{u^b} = 825 \text{ MPa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing \text{ baut} = 12 \text{ mm}$$

$$A_b = 1,131 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0,5$$

$$m = 1$$

$$\text{Lubang bor baut} = 2 \text{ mm}$$

Keterangan las:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 100 \text{ mm}$$

Keterangan pelat:

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

$$l_p = 100 \text{ mm}$$

- Perhitungan gaya dalam

$$V_D = \frac{w_{balok} L_{balok}}{2}$$

$$= \frac{94,6 \times 5,995}{2}$$

$$= 283,563 \text{ kg}$$

$$V_L = \frac{\text{bebanterpusat}}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100}{2} \\
 &= 50 \text{ kg} \\
 V_u &= 1,2 V_D + 1,6 V_L \\
 &= (1,2 \cdot 283,563) + (1,6 \cdot 50) \\
 &= 420,276 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Kontrol sambungan baut
 - Kuat geser baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 V_n &= r_1 \cdot F_u^b \cdot m \cdot A_b \\
 &= 0,5 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot 1,131 \\
 &= 4665,265 \text{ kg} \\
 \phi V_n &= 0,75 \times 4665,265 \text{ kg} \\
 &= 3498,95 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{menentukan}
 \end{aligned}$$
 - Kuat tumpu baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \\
 &= 2,4 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 4100 \\
 &= 11808 \text{ kg} \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 11808 \text{ kg} \\
 &= 8856 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan kuat geser dan kuat tumpu diatas diambil nilai terkecil diantara keduanya, maka kuat nominal baut sebesar 3498,95 kg.

Jumlah baut

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{V_u}{\phi V_n} \\
 &= \frac{420,276}{3498,95} \\
 &= 0,1 \approx 2
 \end{aligned}$$

Maka sambungan pen geser pada balok induk digunakan baut sejumlah 2 buah.

- Jarak pemasangan baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.4)
Jarak antar baut (S):

$$\begin{aligned}
 3db &\leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm} \\
 3 \cdot 12 \text{ mm} &\leq 50 \text{ mm} \leq 15 \cdot 10 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\
 36 \text{ mm} &< 50 \text{ mm} < 150 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Jarak baut ke tepi (S_1):

$$\begin{aligned}
 1,5db &\leq S_1 \leq 4tp + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\
 1,5 \cdot 12 \text{ mm} &\leq 25 \text{ mm} \leq 4 \cdot 10 + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \\
 18 \text{ mm} &< 25 \text{ mm} < 140 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Maka jarak antar baut yang digunakan adalah $S = 50$ mm dan jarak baut ke tepi $S_1 = 25$ mm.

- Kontrol sambungan pelat

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui: } a &= 4 \text{ mm} \\
 lw &= 100 \text{ mm} \\
 Fu_w &= 4921 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Fn_w &= 0,6 \cdot Fu_w \\
 &= 0,6 \cdot 4921 \\
 &= 2952,6 \text{ kg/cm}^2 \\
 Aw &= 1 \cdot 0,707 \cdot a \cdot lw \\
 &= 1 \cdot 0,707 \cdot 0,4 \cdot 10 \\
 &= 2,83 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= Fn_w \cdot Aw \\
 &= 2952,6 \cdot 2,83 \\
 &= 8349,953 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Kontrol kuat nominal las:

$$\begin{aligned}
 Vu &< \phi Rn \\
 420,276 \text{ kg} &< 0,8 \cdot 8349,953 \\
 420,276 \text{ kg} &< 6262,46 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Kontrol leleh:

$$\begin{aligned}
 Ag &= tp \cdot p \text{ pelat} \\
 &= 1 \cdot 10 \\
 &= 10 \text{ cm}^2 \\
 \phi Tn &= \phi \cdot Fy \cdot Ag \\
 &= 0,9 \cdot 2500 \cdot 10 \\
 &= 22500 \text{ kg} \\
 Tu &\leq \phi Tn
 \end{aligned}$$

$$420,276 \text{ kg} < 22500 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$

- Kontrol patah (geser *block*):

$$\begin{aligned}\varnothing \text{ lubang baut} &= \varnothing \text{ baut} + 2 \\ &= 12 + 2 \\ &= 14 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Anv} &= \text{Lnv} \cdot \text{tp} \\ &= (\text{L} - n \cdot \varnothing \text{ lubang baut}) \cdot \text{tp} \\ &= (10 - 2 \cdot 1,2) \cdot 1 \\ &= 3,6 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \text{Tn} &= \phi \cdot \text{Fu} \cdot \text{Anv} \\ &= 0,75 \cdot 4100 \cdot 7,6 \\ &= 23370 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tu} &\leq \phi \text{Tn} \\ 420,276 \text{ kg} &< 23370 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

b. Sambungan *rigid* dengan sambungan baut dan las

- Data perencanaan sambungan

Digunakan baut mutu A325 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\text{Fu}^b = 825 \text{ MPa} \quad = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varnothing \text{ baut} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Ab} = 1,131 \text{ cm}^2$$

$$r_1 = 0,5$$

$$m = 1$$

$$\text{Lubang bor baut} = 2 \text{ mm}$$

Keterangan las:

$$a = 20 \text{ mm}$$

$$\text{lw} = 200 \text{ mm}$$

Keterangan pelat:

$$\text{tp} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{lp} = 20 \text{ mm}$$

- Gaya dalam yang bekerja

$$\text{Mu} = 39003,5 \text{ kg.m}$$

$$\text{Vu} = 16254,32 \text{ kg}$$

- Perhitungan sambungan baut

- Kuat geser baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

$$\begin{aligned} V_n &= r_1 \cdot F_u^b \cdot m \cdot A_b \\ &= 0,5 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot 1,131 \\ &= 4665,265 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \times 4665,265 \text{ kg} \\ &= 3498,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

→ menentukan

- Kuat tumpu baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \\ &= 2,4 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 4100 \\ &= 17712 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 17712 \text{ kg} \\ &= 13284 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan kuat geser dan kuat tumpu diatas diambil nilai terkecil diantara keduanya, maka kuat nominal baut sebesar 3498,95 kg.

Jumlah baut

$$\begin{aligned} n &= \frac{V_u}{\phi V_n} \\ &= \frac{16254,32}{3498,95} \\ &= 4,6 \approx 6 \end{aligned}$$

Maka sambungan rigid pada balok induk digunakan baut sejumlah 6 buah.

- Kuat baut akibat geser dan tarik (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.2)

$$\begin{aligned} T_d &= \phi \cdot F_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 8250 \cdot 1,131 \\ &= 6997,898 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka kontrol baut akibat kuat geser dan tariknya adalah:

$$\begin{aligned} T_d &\leq \frac{T_u}{n} \\ 6997,898 \text{ kg} &\leq \frac{16254,32}{6} \end{aligned}$$

$$6997,898 \text{ kg} < 2709,053 \text{ kg} \rightarrow \text{OK}$$

- Jarak pemasangan baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.4)

Jarak antar baut (S)

$$3db \leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \cdot 12 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm} \leq 15 \cdot 15 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$36 \text{ mm} < 60 \text{ mm} < 225 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Jarak baut ke tepi (S_1)

$$1,5db \leq S_1 \leq 4tp + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \cdot 12 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm} \leq 4 \cdot 15 + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$18 \text{ mm} < 40 \text{ mm} < 160 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Maka jarak antar baut yang digunakan adalah $S = 60$ mm dan jarak baut ke tepi $S_1 = 40$ mm.

- Perhitungan sambungan las

- Perhitungan sambungan pada pengaku

- Dimensi pelat pengaku (SNI 03-1729-2002 Pasal 8.11.3)

$$\begin{array}{ll} \text{Direncanakan:} & bs = 200 \text{ mm} \\ & ts = 15 \text{ mm} \end{array}$$

Persyaratan 1:

$$ts \geq 0,5tf$$

$$15 \text{ mm} \geq 0,5 \cdot 18 \text{ mm}$$

$$15 \text{ mm} > 9 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Persyaratan 2:

$$\frac{bs}{ts} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{200}{15} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$6,7 \text{ mm} < 15,8 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dimensi pelat pengaku memenuhi dua persyaratan tersebut dengan lebar (bs) = 200 mm dan tebal (ts) = 15 mm.

- Kuat sambungan las pada pelat pengaku
Sambungan pada pelat pengaku direncanakan menggunakan las sudut mutu F_{E110XX} dengan perencanaan kuat nominal sambungan sebagai berikut:

Diketahui: $a = 20 \text{ mm}$
 $l_w = 200 \text{ mm}$
 $F_{u_w} = 7733 \text{ kg/cm}^2$

Gaya tarik yang bekerja pada las pelat pengaku:

$$T_u = \frac{Mu}{d}$$

$$= \frac{39003,5}{0,2}$$

$$= 195017,5 \text{ kg}$$

$$F_{n_w} = 0,6 \cdot F_{u_w}$$

$$= 0,6 \cdot 7733$$

$$= 4639,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_w = 2 \cdot 0,707 \cdot a \cdot l_w$$

$$= 2 \cdot 0,707 \cdot 2 \cdot 20$$

$$= 56,56 \text{ cm}^2$$

$$R_n = F_{n_w} \cdot A_w$$

$$= 4639,8 \cdot 56,56$$

$$= 262427,1 \text{ kg}$$

Kontrol kuat nominal las:

$$T_u < \phi R_n$$

$$195017,5 \text{ kg} < 0,8 \cdot 262427,1$$

$$195017,5 \text{ kg} < 196820,32 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$

- Perhitungan sambungan pada pelat sayap balok induk bagian atas
 - Kuat sambungan las pada pelat pengaku
Sambungan pada pelat pengaku direncanakan menggunakan las sudut mutu F_{E110XX} dengan perencanaan kuat nominal sambungan sebagai berikut:

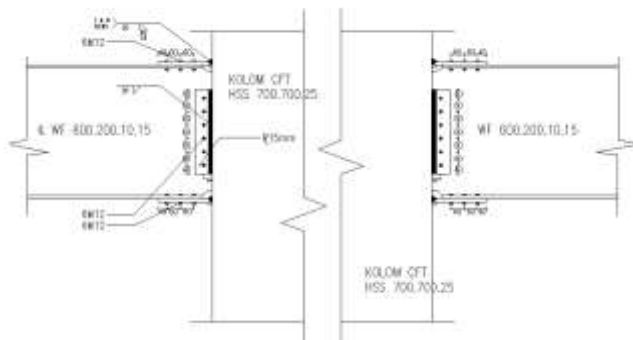
Diketahui: $a = 20 \text{ mm}$
 $l_w = 200 \text{ mm}$
 $F_{uw} = 7733 \text{ kg/cm}^2$

Gaya tarik yang bekerja pada las pelat pengaku:

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{Mu}{d} \\ &= \frac{39003,5}{0,596} \\ &= 65442,1 \text{ kg} \\ F_{nw} &= 0,6 \cdot F_{uw} \\ &= 0,6 \cdot 7733 \\ &= 4639,8 \text{ kg/cm}^2 \\ A_w &= 0,707 \cdot a \cdot l_w \\ &= 0,707 \cdot 2 \cdot 20 \\ &= 28,28 \text{ cm}^2 \\ R_n &= F_{nw} \cdot A_w \\ &= 4639,8 \cdot 28,28 \\ &= 131213,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol kuat nominal las:

$$\begin{aligned} T_u &< \phi R_n \\ 65442,1 \text{ kg} &< 0,8 \cdot 131213,5 \\ 65442,1 \text{ kg} &< 98410,16 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$



Gambar 6. 31 Detail Sambungan Kolom dengan Balok Induk

6.1.6.7 Sambungan Batang Bresing

Kuat perlu sambungan batang bresing ke balok harus ditentukan lebih besar atau sama dengan kuat nominal batang bresing yaitu $1,25 \cdot R_y \cdot V_n$. Dimana V_n adalah kuat geser nominal *link* yang diambil dari nilai terkecil

antara V_p dengan $\frac{2Mp}{e}$.

$$\begin{aligned} V_p &= 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot F_y \cdot (d-2t_f) \cdot t_w \\ &= 0,6 \cdot 2500 \cdot (500 - 2 \cdot 16) \cdot 10 \\ &= 702000 \text{ N} \\ &= 70200 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{2Mp}{e} \\ &= \frac{2 \times 52409}{1,5} \\ &= 69878,667 \text{ kg} \rightarrow \text{Menentukan} \end{aligned}$$

Maka kuat perlu pada sambungan bresing:

$$\begin{aligned} V_u &= 1,25 \times R_y \times V_n \\ &= 1,25 \times 1,5 \times 69878,667 \\ &= 131022,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Digunakan sambungan las dengan mutu F_{E70XX} dan mutu baut A325 dengan spesifikasi-spesifikasi sebagai berikut:

- Las F_{E70XX} :
 - $F_{u_w} = 4921 \text{ kg/cm}^2$
 - $F_y = 2900 \text{ kg/cm}^2$
 - $a = 6 \text{ mm}$
- Mutu baut A325
 - $F_u^b = 825 \text{ MPa} = 8250 \text{ kg/cm}^2$
 - $\varnothing \text{ baut} = 25 \text{ mm}$
 - $A_b = 4,909 \text{ cm}^2$
 - $r_1 = 0,5$
 - $m = 1$

Lubang bor baut = 3 mm

(SNI 03-1729-2002 Pasal 17.3.6)

Diketahui: $E = 200000 \text{ MPa} = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$M_u = 9336,3 \text{ kg.m}$

$P_u = 162034,5 \text{ kg}$

$L_p = 7 \text{ m}$

$h = 4,8 \text{ m}$

$e = 1,5 \text{ m}$

$$\alpha = \frac{h}{L_p - e/2}$$

$$= \frac{4,8}{7 - 1,5/2}$$

$$= 53,96^\circ$$

a. Perhitungan sambungan baut

- Kuat geser baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.1)

$$\begin{aligned} V_n &= r_1 \cdot F_u^b \cdot m \cdot A_b \\ &= 0,5 \cdot 8250 \cdot 1 \cdot 4,909 \\ &= 20248,55 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \times 20248,55 \text{ kg} \\ &= 15186,41 \text{ kg} \end{aligned}$$

→ menentukan

- Kuat tumpu baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.2.2.4)

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \\ &= 2,4 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 4100 \\ &= 24600 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 24600 \text{ kg} \\ &= 18450 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan kuat geser dan kuat tumpu diatas diambil nilai terkecil diantara keduanya, maka kuat nominal baut sebesar 15186,41 kg.

Jumlah baut

$$n = \frac{V_u}{\phi V_n}$$

$$= \frac{131022,5}{15186,41}$$

$$= 8,6 \approx 10$$

Maka sambungan pen geser pada balok induk digunakan baut sejumlah 10 buah.

- Jarak pemasangan baut (SNI 03-1729-2002 Pasal 13.4)

Arah x:

Jarak antar baut (S):

$$3db \leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \cdot 25 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 15 \cdot 10 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$75 \text{ mm} < 100 \text{ mm} < 150 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Jarak baut ke tepi (S_1):

$$1,5db \leq S_1 \leq 4tp + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \cdot 25 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} \leq 4 \cdot 10 + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$37,5 \text{ mm} < 75 \text{ mm} < 140 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Maka pada arah x jarak antar baut yang digunakan adalah $S = 100 \text{ mm}$ dan jarak baut ke tepi $S_1 = 75 \text{ mm}$.

Arah y:

Jarak antar baut (S):

$$3db \leq S \leq 15tp \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 \cdot 25 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} \leq 15 \cdot 10 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$75 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Jarak baut ke tepi (S_1):

$$1,5db \leq S_1 \leq 4tp + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$1,5 \cdot 25 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} \leq 4 \cdot 10 + 100 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}$$

$$37,5 \text{ mm} < 75 \text{ mm} < 140 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Maka pada arah y jarak antar baut yang digunakan adalah $S = 150 \text{ mm}$ dan jarak baut ke tepi $S_1 = 75 \text{ mm}$.

b. Perhitungan sambungan las

$$Aw = 2 \cdot 0,707 \cdot a \cdot lw$$

$$= 2 \cdot 0,707 \cdot 0,6 \cdot 14$$

$$= 118,776 \text{ cm}^2$$

Tegangan yang terjadi arah x:

$$Vu_x = Vu \cos \alpha$$

$$= 131022,5 \cos 53,96^\circ$$

$$= 77086,69 \text{ kg}$$

$$f_h = \frac{Vu_x}{Aw}$$

$$= \frac{77086,69}{118,776}$$

$$= 649,009 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan yang terjadi arah y:

$$Vu_y = Vu \sin \alpha$$

$$= 131022,5 \sin 53,96^\circ$$

$$= 105945,9 \text{ kg}$$

$$f_v = \frac{Vu_y}{Aw}$$

$$= \frac{105945,9}{118,776}$$

$$= 891,981 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{f_h^2 + f_v^2}$$

$$= \sqrt{649,009^2 + 891,981^2}$$

$$= 1103,106 \text{ kg/cm}^2$$

- Kontrol kekuatan las

$$Fn_w = 0,6 \cdot Fu_w$$

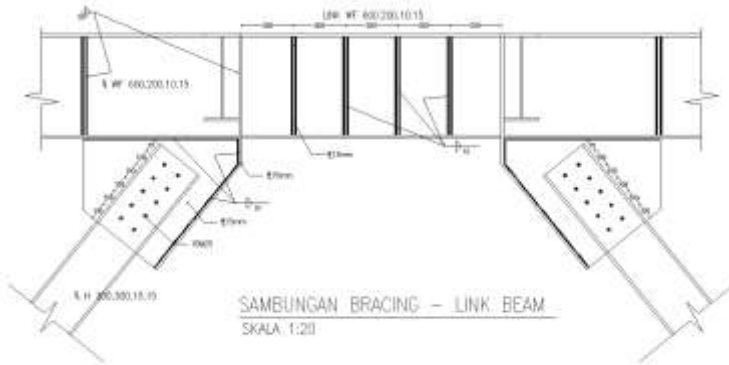
$$= 0,6 \cdot 4921 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 2952,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\text{total}} < \phi Fn_w$$

$$1103,106 \text{ kg/cm}^2 < 0,75 \cdot 2952,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$1103,106 \text{ kg/cm}^2 < 2241,45 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

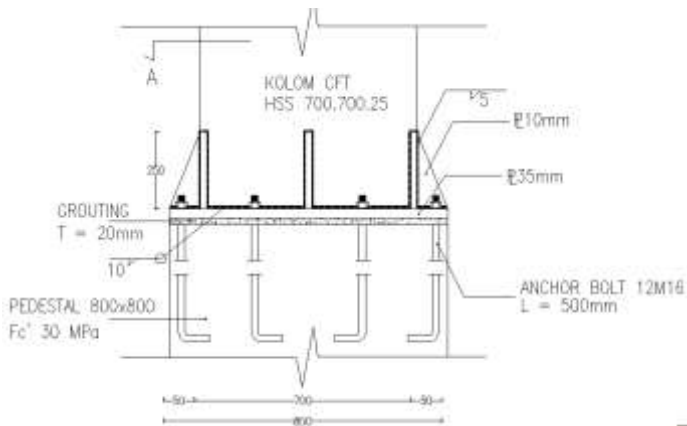


Gambar 6. 32 Sambungan Batang Bresing

6.1.6.8 Sambungan Kolom CFT dengan Pedestal

Pedestal direncanakan menggunakan dimensi 800x800. Untuk sambungan kolom CFT 700.700.25.25 dengan pedestal direncanakan menggunakan las penetrasi penuh dengan mutu F_{e110XX} . Gaya-gaya yang bekerja pada sambungan adalah akibat dari beban mati dan beban seismik akibat komponen vertikal. Sambungan ditempatkan pada posisi tengah dari ketinggian lantai. Spesifikasi sambungan las adalah sebagai berikut:

F_{u_w}	=	7737 kg/cm ²	
F_y	=	2900 kg/cm ²	
t_e	=	5 mm	
l_w	=	2800 mm	
Diketahui: E	=	200000 MPa	= 2×10^6 kg/cm ²
M_u	=	20690,35 kg.m	
P_u	=	819074,88 kg	
V_u	=	8302,31 kg	



Gambar 6. 33 Sambungan Kolom CFT dengan Pedestal

a. Perhitungan sambungan las penetrasi penuh

- Gaya yang bekerja pada sambungan las

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{M_u \pm P_u}{d_c} \\
 &= \frac{20690,35}{0,7} \pm 819074,9
 \end{aligned}$$

$$T_u^+ = 848632,5 \text{ kg}$$

$$T_u^- = -789517,2 \text{ kg}$$

- Kekuatan las tumpul penetrasi penuh

$$\begin{aligned}
 F_{nw} &= F_{uw} \\
 &= 7733 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= l_w \cdot t_e \\
 &= 280 \cdot 0,5 \\
 &= 140 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nw} \cdot A_w \\
 &= 7733 \cdot 140 \\
 &= 1082620 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot 1082620 \\
 &= 866096 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Kontrol tegangan las

$$\left(\frac{V_u}{\phi R_n} \right)^2 + \left(\frac{T_u}{\phi R_n} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{8302,31}{866096} \right)^2 + \left(\frac{848632,5}{866096} \right)^2 \leq 1,0$$

$$0,96 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

- b. Perhitungan ketebalan pelat landas

Direncanakan pelat landas sama dengan dimensi pedestal 800x800.

$$\begin{aligned} f_{p \max} &= \phi_c \cdot 0,85 \cdot f'_c \\ &= 0,65 \cdot 0,85 \cdot 25 \\ &= 13,812 \text{ MPa} \\ &= 138,12 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\max} &= f_{p \max} \cdot B \\ &= 138,12 \cdot 80 \\ &= 11050 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{kritis}} &= \frac{N}{2} - \frac{Pu}{2 \cdot q_{\max}} \\ &= \frac{80}{2} - \frac{819074,88}{2 \cdot 11050} \\ &= 2,938 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{20690,35}{819074,88} \\ &= 0,025 \text{ m} \\ &= 2,526 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dikarenakan $e < e_{\text{kritis}} = 2,526 \text{ cm} < 2,938 \text{ cm}$, maka pelat landas memikul gaya aksial, gaya geser dan juga momen lentur dengan intensitas yang cukup kecil, sehingga distribusi tegangan tidak terjadi sepanjang pelat landas.

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{P_u}{q_{\max}} \\
 &= \frac{819074,88}{11050} \\
 &= 74,124 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Sisi desak : pelat kantilever $m = 5 \text{ cm} < Y = 74,124 \text{ cm}$, maka tebal pelat landasan untuk memikul gaya reaksi beton adalah :

$$\begin{aligned}
 f_p &= \frac{P_u}{B.Y} \\
 &= \frac{819074,88}{80.74,124} \\
 &= 138,126 \text{ kg/cm}^2 \\
 t_p &\geq 1,5m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \\
 &\geq 1,5 \times 5 \sqrt{\frac{138,126}{2500}} \\
 &\geq 1,76 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka tebal pelat landasan yang dipakai adalah 2 cm.

c. Perhitungan pelat pengaku

- Dimensi pelat pengaku (SNI 03-1729-2002 Pasal 8.11.3)

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan: } b_s &= 100 \text{ mm} \\
 t_s &= 15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Persyaratan 1:

$$t_s \geq 0,5t_f$$

$$15 \text{ mm} \geq 0,5 \cdot 25 \text{ mm}$$

$$15 \text{ mm} > 12,5 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{OK}$$

Persyaratan 2:

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{100}{15} \leq 0,56 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$6,7 \text{ mm} < 15,8 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dimensi pelat pengaku memenuhi dua persyaratan tersebut dengan lebar (bs) = 100 mm dan tebal (ts) = 15 mm.

- Kuat sambungan las pada pelat pengaku
Sambungan pada pelat pengaku direncanakan menggunakan las sudut dengan perencanaan kuat nominal sambungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } a &= 6 \text{ mm} \\ l_w &= 100 \text{ mm} \\ F_{u_w} &= 7733 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{n_w} &= 0,6 \cdot F_{u_w} \\ &= 0,6 \cdot 7733 \\ &= 4639,8 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_w &= 2 \cdot 0,707 \cdot a \cdot l_w \\ &= 2 \cdot 0,707 \cdot 0,6 \cdot 10 \\ &= 8,48 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= F_{n_w} \cdot A_w \\ &= 4639,8 \cdot 8,48 \\ &= 39364,06 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol kuat nominal las:

$$\begin{aligned} V_u &< \phi R_n \\ 8302,31 \text{ kg} &< 0,8 \cdot 39364,06 \\ 8302,31 \text{ kg} &< 29523,05 \text{ kg} \end{aligned}$$

$\rightarrow \text{OK}$

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB VII

PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH

7.1 Umum

Pondasi adalah suatu konstruksi bagian dasar atau konstruksi yang berfungsi menopang bangunan yang ada di atasnya untuk di teruskan bebannya secara merata ke lapisan tanah.

Secara umum terdapat dua macam pondasi yaitu pondasi dangkal (*Shallow Foundations*) dan pondasi dalam (*Deep Foundations*). Yang termasuk dalam pondasi dangkal ialah pondasi memanjang, pondasi tapak, pondasi raft, dan pondasi rollag bata. Sedangkan yang termasuk dalam pondasi dalam ialah pondasi tiang pancang (*pile*), pondasi dinding diafragma, pondasi crucuk, dan pondasi *caissons*. Umumnya pondasi dalam dipakai untuk struktur dengan beban yang relatif besar seperti apartemen, hotel dll.

Pondasi yang akan direncanakan pada Hotel Holiday Inn Express Surabaya ini memakai pondasi dalam yaitu pondasi *borepile*.

7.2 Data Tanah

Penyelidikan tanah perlu dilakukan untuk mengetahui jenis dan karakteristik tanah di tempat yang akan dibangunnya gedung tersebut. Dengan adanya penyelidikan tanah maka dapat diketahui dan direncanakannya kekuatan tanah dalam menahan beban yang akan disalurkan atau yang lebih dikenal dengan daya dukung tanah terhadap beban pondasi.

Data tanah pada perencanaan pondasi ini diambil sesuai dengan data penyelidikan tanah di daerah kota Padang yang dianggap dapat mewakili kondisi tanah pada proyek pembangunan gedung perkantoran ini. Data tanah yang telah tersedia dilapangan meliputi data penyelidikan

tanah hasil uji Standard Penetration Test (SPT) yang dapat dilihat pada bagian lampiran.

7.3 Perencanaan Pondasi

7.3.1 Perencanaan Diameter *Borepile*

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 v19 didapatkan besar $Q_w = 1071,534$ ton, dimana Q_w adalah beban yang bekerja di atas tiang.

Diketahui: $F_c' = 30 \text{ MPa} = 300 \text{ kg/cm}^2$

Diameter tiang:

$$\begin{aligned} D_s &= 2,257 \sqrt{\frac{631718,01}{300}} \\ &= 103,57 \text{ cm} \\ &= 1,036 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka diameter *borepile* yang digunakan adalah 1,2 m dan diameter pembesaran (D_{bell}) 2,5 m.

7.3.2 Perhitungan Daya Dukung *Borepile*

Daya dukung *Borepile* dihitung dari kedalaman 0 m dan panjang *borepile* adalah 25 m. Untuk menghitung daya dukung *borepile* digunakan persamaan berikut :

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung diujung tiang

Q_s = Daya dukung pada selimut tiang

Dengan data tanah terlampir pada lampiran dan $Q_w = 1071,534$ ton

Tabel 7. 1 Data Tanah N SPT Koreksi Terhadap Muka Air

Kedalaman	Jenis Tanah	Nilai N SPT	Nilai N'
(m)			
1	lanau berlempung	3	3
3	lanau berlempung	1	1
5	pasir berlempung	1	1

7	lanau berlempung	1	1
9	lanau berlempung	1	1
11	lanau berlempung	1	1
13	lanau berlempung	17	16
15	lanau berlempung	19	17
17	lanau berlempung	19	17
19	lanau berlempung	19	17
21	lanau berlempung	19	17
23	lanau berlempung	44	29,5
25	lempung berlanau	34	24,5
27	lempung berlanau	50	32,5
29	lempung berlanau	50	32,5
31	lempung berlanau	50	32,5
33	lempung berlanau	30	22,5
35	lempung berlanau	33	24
37	lempung berlanau	32	23,5
39	lempung berlanau	39	27
41	lempung berlanau	50	32,5
43	lempung berlanau	50	32,5
45	lempung berlanau	50	32,5
47	lempung berlanau	50	32,5
49	lempung berlanau	50	32,5

Harga N untuk lempung atau pasir berlanau (*silty sands*) di bawah muka air tanah harus dikoreksi menjadi N' berdasarkan perumusan sebagai berikut: (Terzaghi & Peck):

$$N' = 15 + 0.5 (N - 15), \text{ untuk } N > 15$$

$$N' = 1.25 N, \text{ untuk } \textit{gravel} \text{ atau } \textit{sandy gravel}$$

a. Daya dukung pada selimut tiang (Q_s)

Untuk kedalaman 0 m s.d. 23 m

$$Q_s = q_s \cdot A_s$$

$$= \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s$$

$$A_s = \pi \cdot D \cdot \Delta L$$

$$= \pi \cdot 1,2 \cdot (25-2) = 90,478 \text{ m}^2$$

Maka daya dukung selimutnya:

$$Q_s = 0,8 \cdot \left(\frac{10,125}{3} + 1 \right) \cdot 90,478$$

$$= 316,672 \text{ ton}$$

b. Daya dukung di ujung tiang (Q_p)Direncanakan titik ujung *borepile* berada di tanah lempung dengan kedalaman 25 m.

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$= \alpha \cdot N_p \cdot K \cdot A_p$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{bell} \cdot D_s)^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot (2,5 \cdot 1,2)^2$$

$$= 7,069 \text{ m}^2$$

Maka daya dukung di ujung tiang:

$$Q_p = 0,85 \times 27,2 \times 20 \times 7,069$$

$$= 3268,513 \text{ ton}$$

c. Daya dukung *borepile*Berdasarkan perhitungan daya dukung selimut tiang dan daya dukung di ujung tiang, maka daya dukung *borepile*nya adalah sebagai berikut:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

$$= 3268,513 + 316,672$$

$$= 3585,186 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_L}{SF}$$

$$= \frac{3585,186}{3}$$

$$= 1195,062 \text{ ton}$$

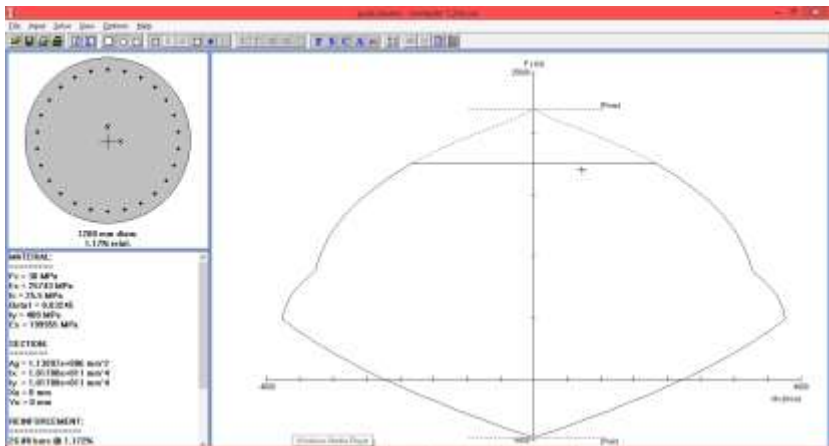
Digunakan satu buah tiang untuk memikul beban satu kolom, dibandingkan hasil daya dukung pondasi terhadap tekanan yang dipikul:

$$Q_w < Q_{ijin}$$

$$1071,534 \text{ ton} < 844,565 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}$$

d. Perhitungan tulangan longitudinal pada *borepile*

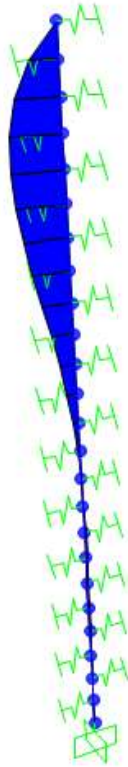
Untuk perhitungan tulangan longitudinal digunakan program bantu pcaCOL. Baja tulangan ulir digunakan dengan rasio tulangan 1% - 4% (SNI 2847-2013). Berdasarkan output dari program bantu pcaColoumn didapat nilai $\rho = 1,17\%$ dan pada *borepile* dipasang tulangan 26 D25 dengan luas tulangan $A_s = 13251,6 \text{ mm}^2$.



Gambar 7. 1 Diagram Interaksi *Borepile* Akibat Kombinasi Beban Gempa Maksimum Menggunakan Program Bantu pcaColoumn

e. Letak titik jepit pada *borepile*

Menentukan letak titik jepit menggunakan program bantu SAP 2000 v19 akibat gaya lateral gempa sebesar 14,879 ton.

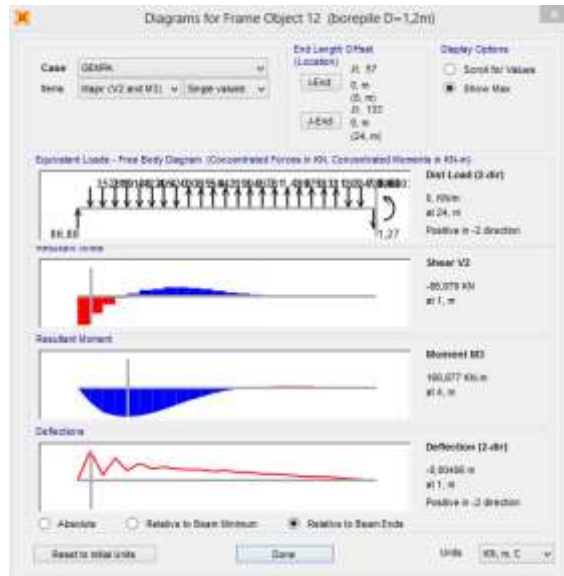


Gambar 7. 2 Diagram Momen pada *Borepile*

Berdasarkan diagram momen diatas didapatkan kedalaman untuk tulangan geser dengan momen =0 adalah 14,2 m.

f. Perhitungan tulangan geser pada *borepile*

Momen maksimum akibat gaya lateral gempa yang didapatkan dari program bantu SAP 2000 v19 digunakan untuk mengontrol material beton pada *borepile* mampu atau tidaknya menahan beban lateral yang terjadi.



Gambar 7. 3 Diagram Momen Maksimum pada *Borepile* Akibat Gaya Lateral Gempa

Berdasarkan diagram diatas didapatkan nilai momen maksimum pada *borepile* sebesar 168,877 kN.m.

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 10.9.3 Rasio volume tulangan spiral, ρ_s tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned}\rho_s &= 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,45 \left(\frac{1130973,355}{865901,475} - 1 \right) \frac{30}{250} \\ &= 0,016\end{aligned}$$

Jarak tulangan geser (senggang) maksimal 200 mm

$$\begin{aligned}S &= \frac{a_s \pi (D_c - \emptyset)}{\left(\frac{\pi}{4} \right) D_c^2 \rho_s} \\ &= \frac{201,06 \pi ((1200 - 150) - 16)}{\left(\frac{\pi}{4} \right) (1200 - 150)^2 0,016} \\ &= 47 \text{ mm} \approx 45 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan geser D16 – 45 mm

7.3.3 Perhitungan Daya Dukung Horizontal *Borepile*

Desain tiang menggunakan tiang ujung jepit (fixed end pile). Menurut McNulty (1956), tiang ujung jepit sebagai tiang yang ujungnya terjepit (tertanam) pada pile cap paling sedikit sedalam 60 cm.

Perhitungan daya dukung horizontal tiang berdasarkan metode Broms, adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}H_u &= 9 \cdot C_u \cdot D \cdot (L_p - 3D/2) \\ &= 9 \cdot 45 \cdot 1,2 \cdot (25 - (3 \cdot 1,2/2)) \\ &= 11275,2 \text{ kN}\end{aligned}$$

Maka kontrol daya dukung horizontal dengan gaya lateral gempa yaitu:

$$\begin{array}{lll}H_u & \geq & F \text{ lateral} \\ 11275,2 \text{ kN} & \geq & 14,879 \text{ ton} \\ 11275,2 \text{ kN} & > & 148,79 \text{ kN}\end{array}$$

Pada H_u tersebut momen yang terjadi pada tiang adalah:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= H_u \cdot (L_p/2 + 3D/2) \\ &= 11275,2 \cdot (25/2 + (3 \cdot 1,2/2)) \\ &= 161235,36 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &\geq M_{\max} \text{ pada tiang ujung jepit} \\ 161235,36 \text{ kN.m} &> 168,877 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

7.3.4 Perencanaan Poer

Poer direncanakan terhadap gaya geser ponds pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur.

Data-data perencanaan poer:

- P_{\max} = 844,565 ton
- Jumlah tiang pancang = 1 buah
- Dimensi poer = $2 \times 2 \times 1,2 \text{ m}$
- Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- Mutu baja (f_y) = 400 MPa
- Diameter tulangan = 25 mm
- Selimut beton = 75 mm
- λ = 1 (beton normal)
- α_s = 40 (kolom interior)
- Tinggi efektif (d)
 - $d_x = 1200 - 75 - \frac{1}{2} 25 = 1112,5 \text{ mm}$
 - $d_y = 1200 - 75 - 25 - \frac{1}{2}(25) = 1087,5 \text{ mm}$

7.3.4.1 Kontrol Geser Pons Akibat Kolom

Poer harus mampu menyebarkan beban dari kolom ke pondasi, sehingga perlu dilakukan kontrol kekuatan geser pons untuk memastikan bahwa kekuatan geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Perencanaan geser pons pada poer tersebut berdasarkan ketentuan SNI 03-2847-2012 Pasal 11.11.2.1.

Untuk pondasi tapak non- prategang (V_c) ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

$$V_{c2} = 0,33 \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

dimana :

β = rasio sisi terpanjang terhadap sisi terpendek (daerah beban terpusat) = $800/800 = 1$

- Tebal efektif balok poer:

$$\text{Arah } x \text{ (dx)} = 1200 - 75 - \frac{1}{2} 25 = 1112,5 \text{ mm}$$

Keliling penampang kritis :

$$b_o = 2 (b_k + d) + 2 (b_k + d)$$

dimana: b_k = lebar penampang kolom

d = tebal efektif poer

$$b_o = (2 (800 + 1112,5)) + (2 (800 + 1112,5)) = 7650 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_{c1} &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1} \right) 1 \cdot \sqrt{30} \times 7650 \times 1112,5 \\ &= 23773452,58 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= 0,33 \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\ &= 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \times 7650 \times 1112,5 \\ &= 15382822,26 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 \cdot 15382822,26 \\ &= 9229693,356 \text{ N} \\ &= 922969,3356 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_u < \phi V_c$$

$$631718,01 \text{ kg} < 922969,336 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}$$

7.3.4.2 Kontrol Geser Pons Akibat Borepile

β = rasio sisi terpanjang terhadap sisi terpendek (daerah beban terpusat) = $1000/1000 = 1$

b_o = keliling dari penampang kritis poer

$$= \pi \times (1200 + 1112,5)$$

$$= 7264,933 \text{ mm}$$

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) 1. \sqrt{30} \times 7264,933 \times 1112,5 \\
 &= 22576802,64 \text{ N} \\
 V_{c2} &= 0,33 \sqrt{f'c} \times b_o \times d \\
 &= 0,33 \cdot 1. \sqrt{30} \times 7264,933 \times 1112,5 \\
 &= 14608519,36 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,6 \cdot 14608519,36 \\
 &= 8765111,613 \text{ N} \\
 &= 8876511,1613 \text{ kg} \\
 P_u &< \phi V_c \\
 631718,01 \text{ kg} &< 876511,1613 \text{ kg} \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

7.3.4.3 Penulangan Poer

a. Penulangan arah x

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{minimum}} = 0,0018$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times d_{\text{eff}} \times b$$

$$0,0018 \times 1112,5 \times 2000 = 3005 \text{ mm}^2$$

Maka, digunakan tulangan D20-100

b. Penulangan arah y

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{minimum}} = 0,0018$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times d_{\text{eff}} \times b$$

$$0,0018 \times 1112,5 \times 2000 = 3005 \text{ mm}^2$$

Maka, digunakan tulangan D20-100

7.4 Perencanaan Kolom Pedestal

Besarnya gaya – gaya dalam kolom diperoleh dari hasil perhitungan struktur primer pada bab sebelumnya.

$$P_u = 819074,88 \text{ kg}$$

$$V_u = 303,41 \text{ kg}$$

$$M_u = 20690,35 \text{ kg.m}$$

• Data perencanaan kolom :

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$A_g = 640000 \text{ mm}^2$$

Mutu bahan :

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

Selimut beton = 40 mm

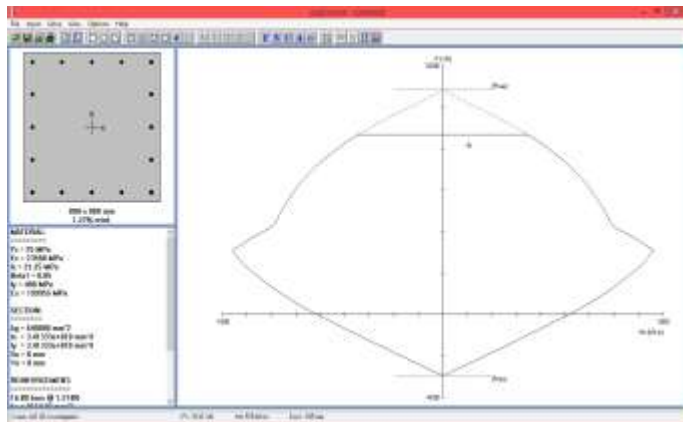
Tulangan sengkang = $\varnothing 12 \text{ mm}$

Tulangan utama = $\varnothing 25 \text{ mm}$

$$\text{Tinggi efektif} = 800 - (40 + 12 + \frac{1}{2} \cdot 25) = 735,5 \text{ mm}$$

- Penulangan lentur pada kolom

Berdasarkan output dari program bantu PCACOL didapat nilai $\rho = 1,27 \%$ dan pada kolom pedestal dipasang tulangan 16 D25 secara merata 4 sisi dengan luas tulangan $A_s = 0,0127 \times 800 \times 735,5 = 7472,68 \text{ mm}^2$.



Gambar 7. 5 Output Kolom Pedestal menggunakan Program Bantu PCAcot

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton :

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(1 + \frac{8190748,8}{14 \times 640000} \right) \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 800 \times 725,50 \\
 &= 1014172,563 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,5 \times 0,75 \times V_c \\
 &= 0,5 \times 0,75 \times 1014172,563 \\
 &= 380314,711 \text{ N} > V_u = 3034,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga tidak perlu tulangan geser. Jadi dipasang tulangan geser praktis Ø12 – 200, sengkang dua kaki.

7.5 Perencanaan Sloof

Struktur sloof digunakan untuk membuat penurunan secara bersamaan pada pondasi atau sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. Adapun beban –beban yang ditimpakan ke sloof meliputi : berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

Direncanakan:

Dimensi sloof:

$$\begin{aligned}
 b &= 400 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 A_g &= 150000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Mutu bahan:

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 30 \text{ MPa} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Selimut beton = 40 mm

Tul. sengkang = Ø12

Tul. utama = D22

Tinggi efektif (d) = $500 - (40 + 12 + \frac{1}{2} \cdot 22)$
= 437 mm

$P_u = 819074,88 \text{ kg}$ (akibat kombinasi 1,2D+1,6L)

- Beban-beban yang terjadi pada sloof :

Beban dinding = $75 \times 3,5 = 262,5 \text{ kg/m}$

Berat sloof = $0,4 \times 0,6 \times 2400 = 576,0 \text{ kg/m}$

$q_D = 838,5 \text{ kg/m}$

$q_U = 1,2q_D + 1,6q_L$

$$= (1,2 \cdot 838,5) + (1,6 \cdot 0)$$

$$= 1006,2 \text{ kg/m}$$

Beban merata kolom:

$$q_u = \frac{P_u}{L}$$

$$= \frac{819074,88}{8,7}$$

$$= 94146,538 \text{ kg/m}$$

10% beban aksial kolom:

$$q_u = 94146,538 \times 0,1$$

$$= 9414,654 \text{ kg/m}$$

$$q_u \text{ total} = 1006,2 \text{ kg/m} + 9414,654 \text{ kg/m}$$

$$= 10420,854 \text{ kg/m}$$

Panjang sloof = 8,7 m

$$M_u = 1/12 \times q_u \times L^2$$

$$= 1/12 \times 10420,854 \times 8,7^2$$

$$= 65729,535 \text{ kgm}$$

$$D(V_u) = 1/2 \times q_u \times L$$

$$= 1/2 \times 10420,854 \times 8,7$$

$$= 45330,714 \text{ kg}$$

- Penulangan tarik pada sloof
 $M_u = 65729,535 \text{ kgm} = 657295353 \text{ Nmm}$
 $D(V_u) = 45330,714 \text{ kg} = 453307,14 \text{ N}$
- Tulangan tarik yang dibutuhkan :

$$A_s = \frac{V_u}{f_y}$$

$$= \frac{453307,14}{400}$$

$$= 1133,267 \text{ mm}^2$$

- Tulangan tekan yang dibutuhkan :

$$A'_s = 0,5 A_s$$

$$= 0,5 \times 1133,267$$

$$= 566,634 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{657295353}{0,8} \\
 &= 821619191,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c'} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\
 &= \frac{801182912,5}{400 \cdot 4537^2} \\
 &= 7,122
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 7,122}{400}} \right) \\
 &= 0,0214
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}} \text{ dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,0214$$

Tulangan tarik yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \rho \times b \times d_x \\
 &= 0.0214 \times 400 \times 537 \\
 &= 4596,495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 A_{s1}' &= 0.50 \times A_s \\
 &= 2298,247 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik :

$$\begin{aligned}
 A_s + A_{s1} &= 1133,267 + 4596,495 \\
 &= 5729,763 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan tarik 16 D22 ($A_s = 6079 \text{ mm}^2$)

Jumlah tulangan tekan :

$$\begin{aligned}
 A_s' + A_{s1}' &= 566,634 + 2298,247 \\
 &= 2864,881 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 8 D22 ($A_s = 3040 \text{ mm}^2$)

- Penulangan Geser Sloof

$$N_u = 8190748,8 \text{ N}$$

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d \\
 &= \left(1 + \frac{8190748,8}{14 \times 150000} \right) \times \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 400 \times 537 \\
 &= 960884,829 \text{ N} > V_u = 37910,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga tidak perlu tulangan geser. Jadi dipasang tulangan geser Ø12 – 200, sengkang 2 kaki.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VIII PENUTUP

8.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan struktur sekunder didapatkan :
 - a. Plat lantai menggunakan bondek SUPER FLOOR DECK $t = 0,75$ mm, dengan 2 macam pelat.
 - b. Balok anak menggunakan profil WF dengan 4 macam dimensi.
 - c. Balok lift menggunakan profil WF dengan 2 macam dimensi.
 - d. Balok tangga menggunakan profil L dan WF dengan 3 macam dimensi.
2. Dari hasil perhitungan struktur primer didapatkan :
 - a. Balok menggunakan profil WF dengan 4 macam dimensi.
 - b. Kolom menggunakan komposit profil CFT dengan 2 macam dimensi.
 - c. *Link* menggunakan profil WF dengan 2 macam dimensi dengan panjang *link* 1,2 m dan 1,5 m.
 - d. Balok luar *link* menggunakan profil WF dengan 2 macam dimensi.
 - e. Bresing menggunakan profil WF dengan 2 macam dimensi.
3. Permodelan analisis struktur menggunakan program bantu SAP 2000v14, dengan 4 kontrol desain dan bangunan telah memenuhi persyaratan desain.
4. Dalam perencanaan ini, sambungan yang digunakan adalah sambungan las dan baut.

5. Pondasi struktur menggunakan tiang bor (borepile) diameter 120 cm dengan kedalaman 25 m berdasarkan hasil penyelidikan tanah SPT (Standard Penetration Test). Tulangan yang digunakan pada pondasi *borepile* adalah 26 D25 dengan sengkang D16-45 mm.
6. Hasil dari perencanaan struktur dapat dilihat pada lampiran gambar berupa gambar teknik.

8.2 Saran

Sebaiknya dilakukan studi yang mempelajari tentang perencanaan struktur bresing eksentrik lebih lanjut dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan estetika, diutamakan untuk perencanaan struktur yang diharapkan mampu memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dalam peraturan baik SNI maupun AISC. Sehingga sistem rangka bresing eksentrik (SRBE) ini lebih efektif sebagai solusi struktur bangunan tahan terhadap beban gempa yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. (2005), *Seismic Provision for Structural Steel Buildings*. AISC, Inc.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012)*. Bandung : BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)*. Bandung : BSN.
- Becker, Roy & Michael Ishler. (1996). *Seismic Design Practice For Eccentrically Braced Frames*. California: Steel Tips Publication.
- Bruneau M. (1998). *Ductile Design of Steel Structures*. McGraw-Hill International Editions.
- Budiono, Yurisman (2011). *Perilaku Link Panjang Dengan Pengaku Diagonal Badan Pada Sistem Struktur Rangka Baja Tahan Gempa*, Seminar dan Pameran HAKI.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Engelhardt, Michael D., (2007). *Design Of Seismic Resistant Steel Building Structures*. USA: University of Texas.
- Engelhardt, Michael D., & Popov, Egor P. (1989). *Behavior of Long Links in Eccentrically Braced Frames*. Earthquake

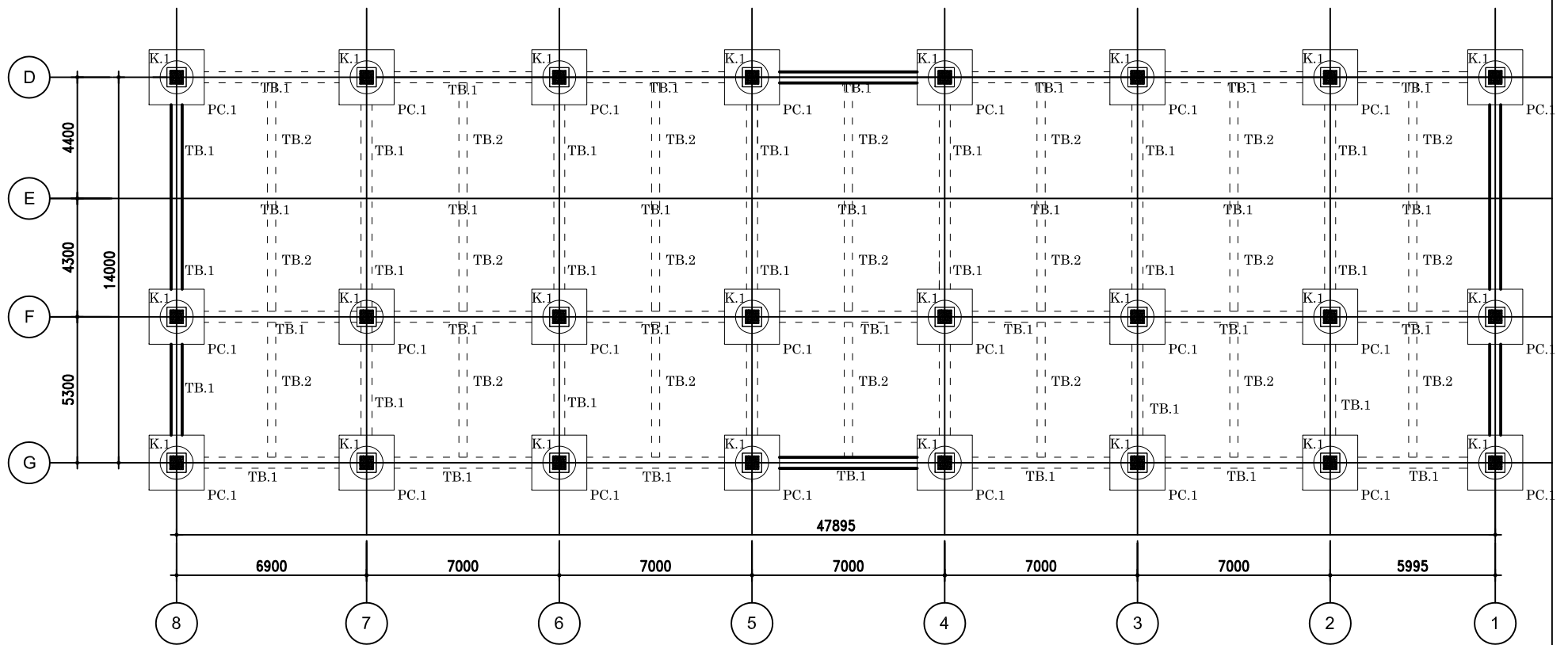
Engineering Research Center UBC/EERC-89/01, College of Engineering University of California at Berkeley.

- Egor P. Popov, Kazuhiko Kasai, & Michael D. Engelhardt, (1986). *Advances In Design of Eccentrically Braced Frames*. Structural Steel Conference, Auckland.
- Moestopo, M., & Yudi, H., (2006), *Kajian Kinerja Link Yang Dapat Diganti Pada Struktur Rangka Baja Berpengaku Eksentrik Tipe Split-K*. Seminar dan Pameran HAKI.
- Purwono, Rachmat. (2005), *Perencanaan Struktur beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya : itspress.
- Reese, Lymon C. and Wright, Stephen J, (1977). *Drilled Shaft Manual*. Washington, D. C: U. S. Dept. of Transportation Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Implementation Division.
- Schneider, Stephen P., Donald R. Kramer, & Douglas L. Sarkinen, (2004). *The Design and Construction of Concrete-Filled Tube Coloumn Frames*. 13th World Conferene on Earthquake Engineering, Canada.
- Setiawan, Agus. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03 – 1729 – 2002)*. Jakarta : Erlangga.
- Shah, Darshika K., M.D. Vakil, & M.N. Patel. (2014). *Parametric Study of Concrete Filled Steel Tube Coloumn*. Applied Mechanics Department, L. D. College of Engineering, Ahmedabad, India.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kazuto Nakazawa. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradya Paramita

Yurisman. (2010). *Perilaku Link dengan Pengaku Diagonal Badan pada Sistem Struktur Rangka Baja Berpenopang Eksentrik (EBF)*, Disertasi Doktorat Teknik Sipil, Pengutamaan Rekayasa Struktur, ITB.

Wahyudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS

LAMPIRAN DAN GAMBAR



DENAH LANTAI DASAR
SKALA 1 : 100

KODE	KETERANGAN
TB1	SLOOF BETON
TB2	SLOOF BETON
K1	KOLOM CFT
—	SRBE



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN PEMBIMBING

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

DENAH LANTAI DASAR

1 : 100

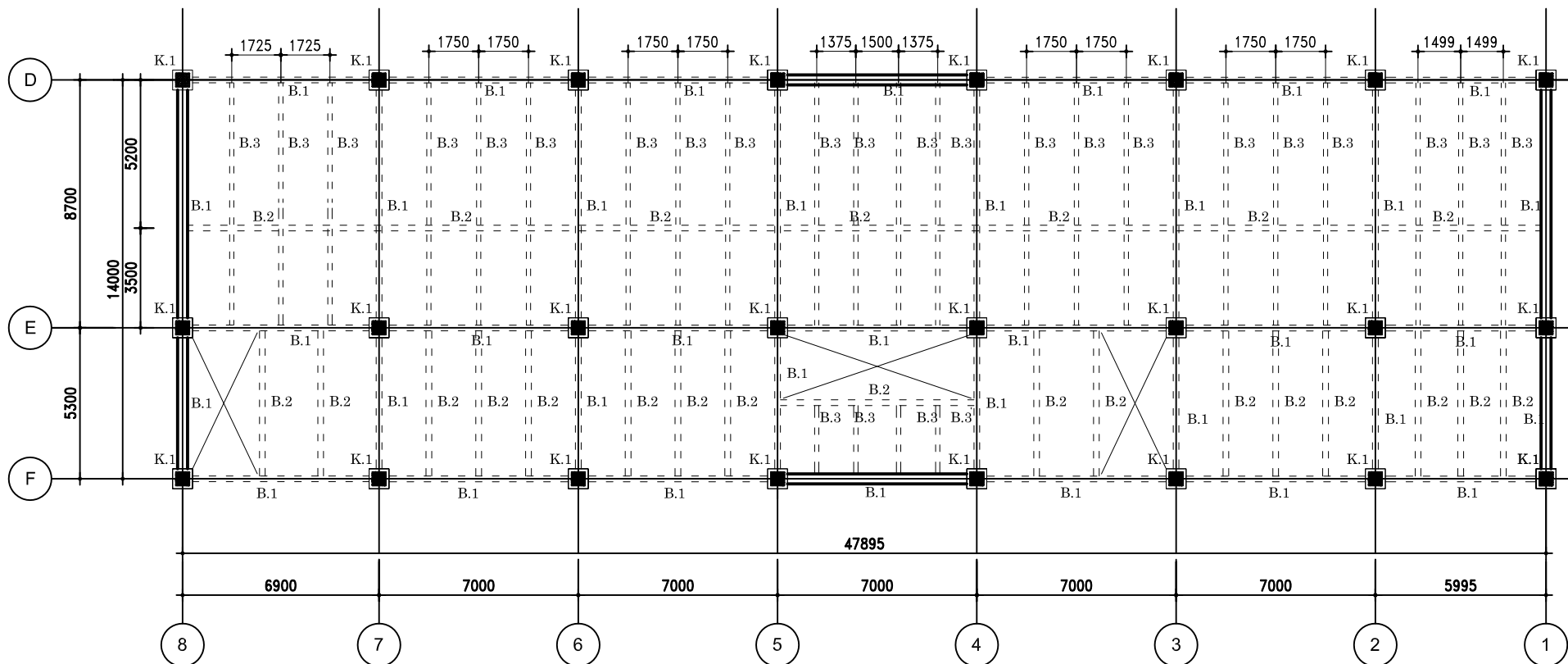
1

JMLH LEMBAR

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007

17



DENAH LANTAI 1
SKALA 1 : 100

KODE	KETERANGAN
B1	BALOK WF
B2	BALOK WF
K1	KOLOM CFT
—	SRBE



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN PEMBIMBING

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

DENAH LANTAI 1

1 : 100

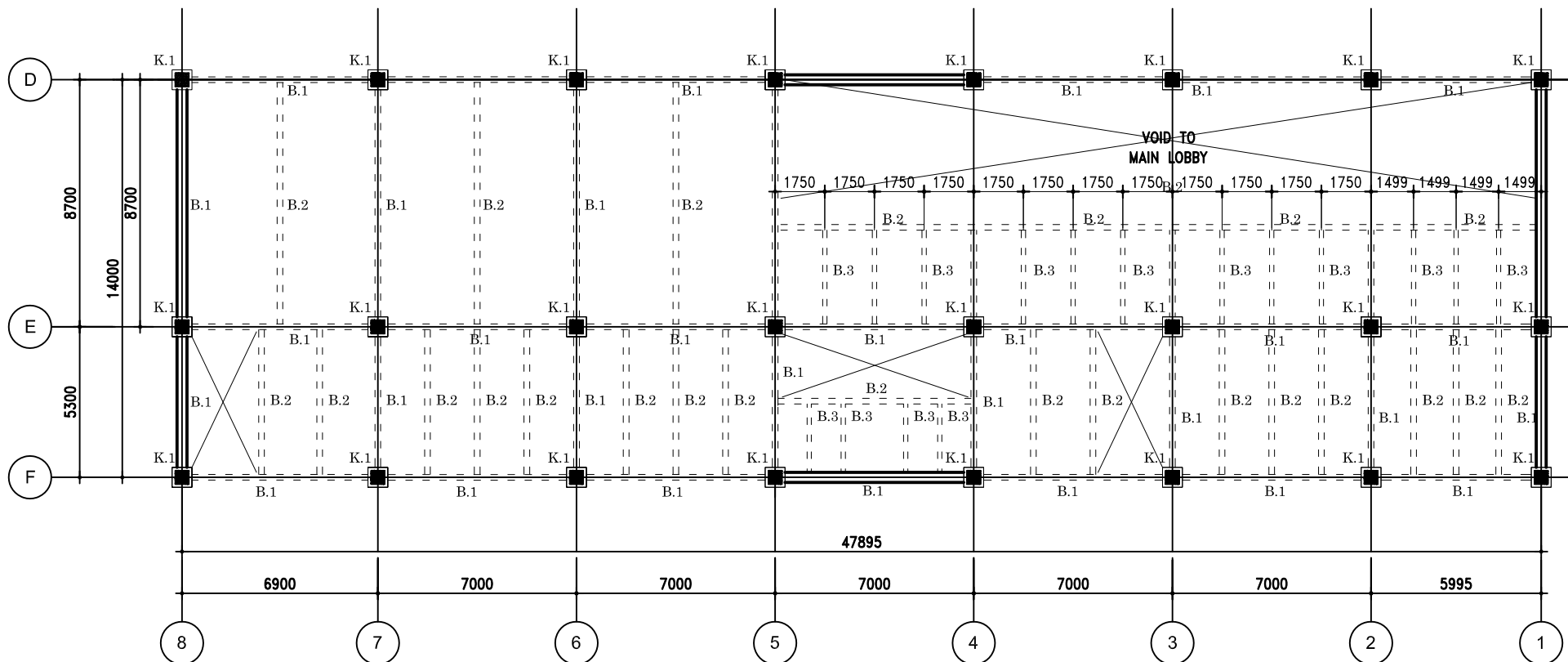
2

JMLH LEMBAR

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007

17



DENAH LANTAI 2
SKALA 1 : 100

KODE	KETERANGAN
B1	BALOK WF
B2	BALOK WF
K1	KOLOM CFT
—	SRBE



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI 2

SKALA

1 : 100

NO. LEMBAR

3

JMLH LEMBAR

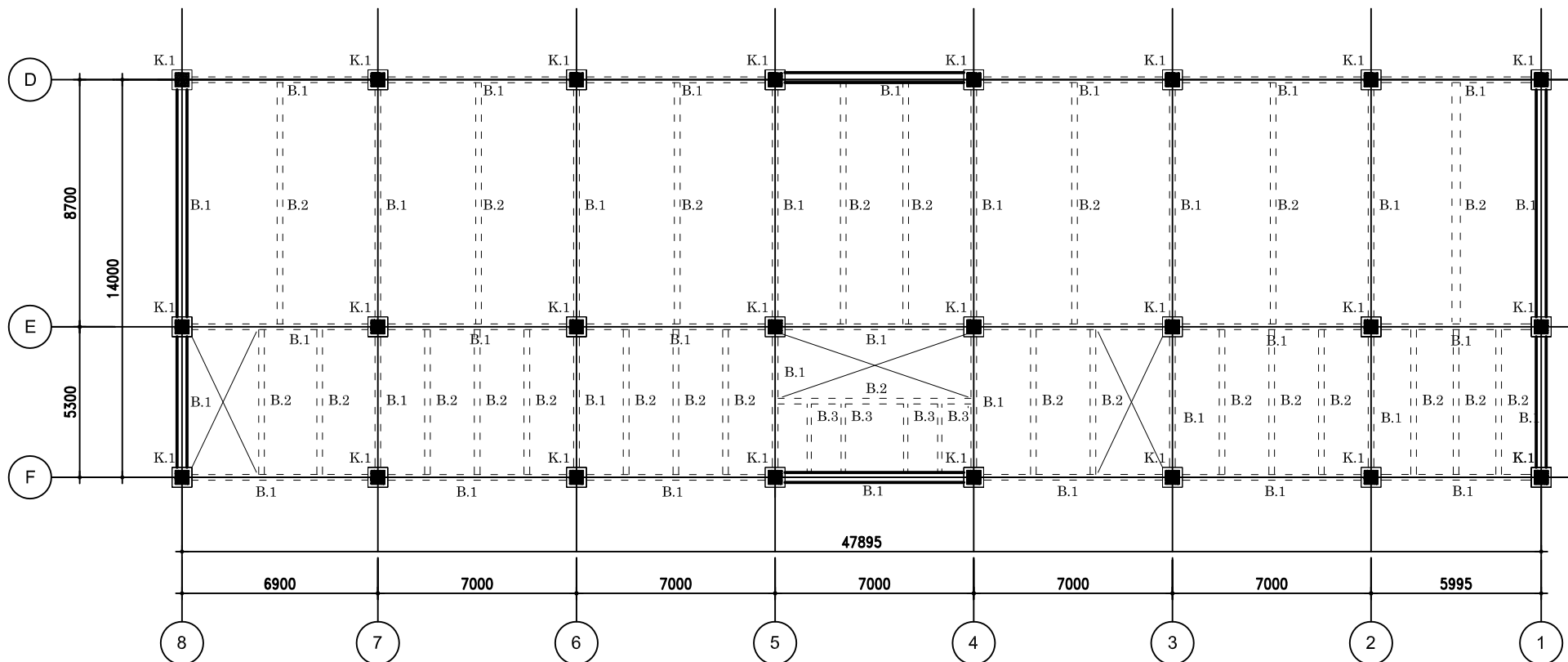
17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



DENAH LANTAI 3-8
SKALA 1 : 100

KODE	KETERANGAN
B1	BALOK WF
B2	BALOK WF
K1	KOLOM CFT
—	SRBE



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN PEMBIMBING

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

DENAH LANTAI 3-8

1 : 100

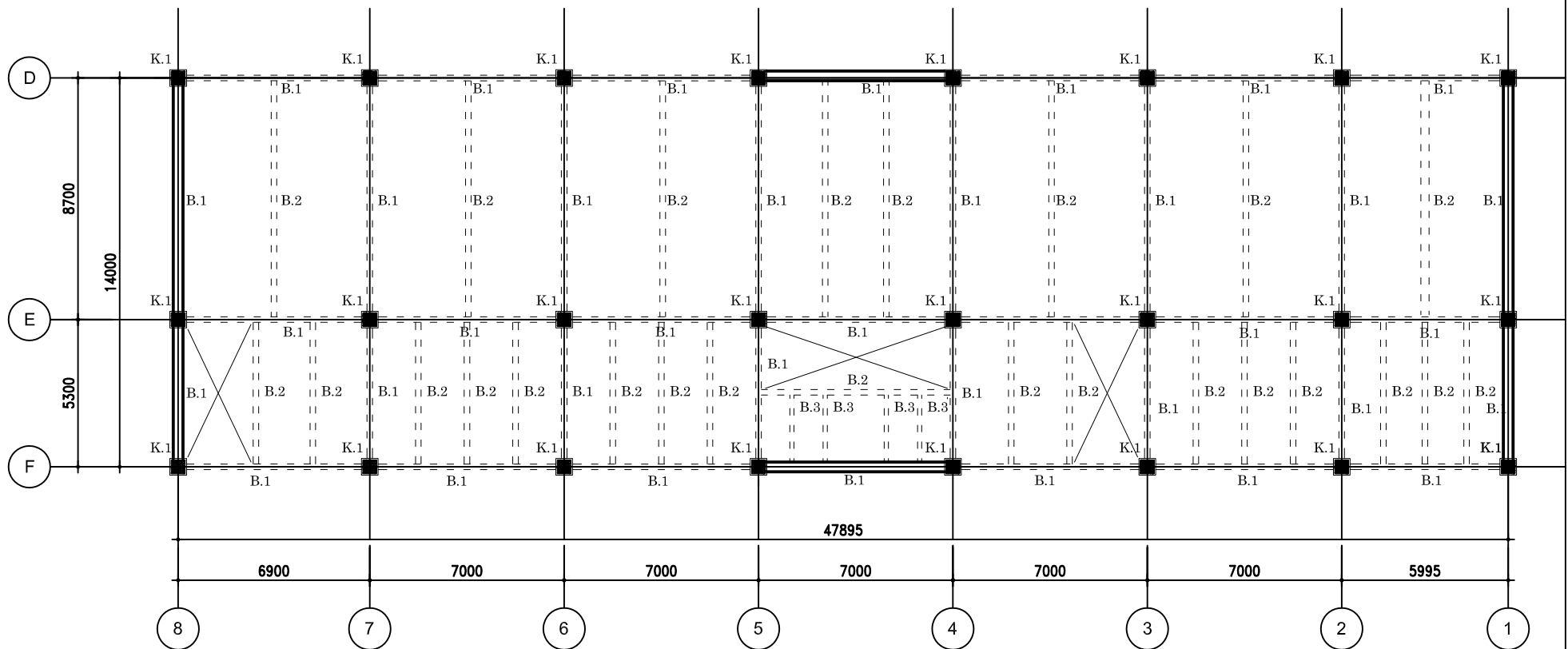
4

JMLH LEMBAR

17

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



DENAH LANTAI 9-14
SKALA 1 : 100

KODE	KETERANGAN
B1	BALOK WF
B2	BALOK WF
K1	KOLOM CFT
—	SRBE



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN PEMBIMBING

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

DENAH LANTAI 9-14

1 : 100

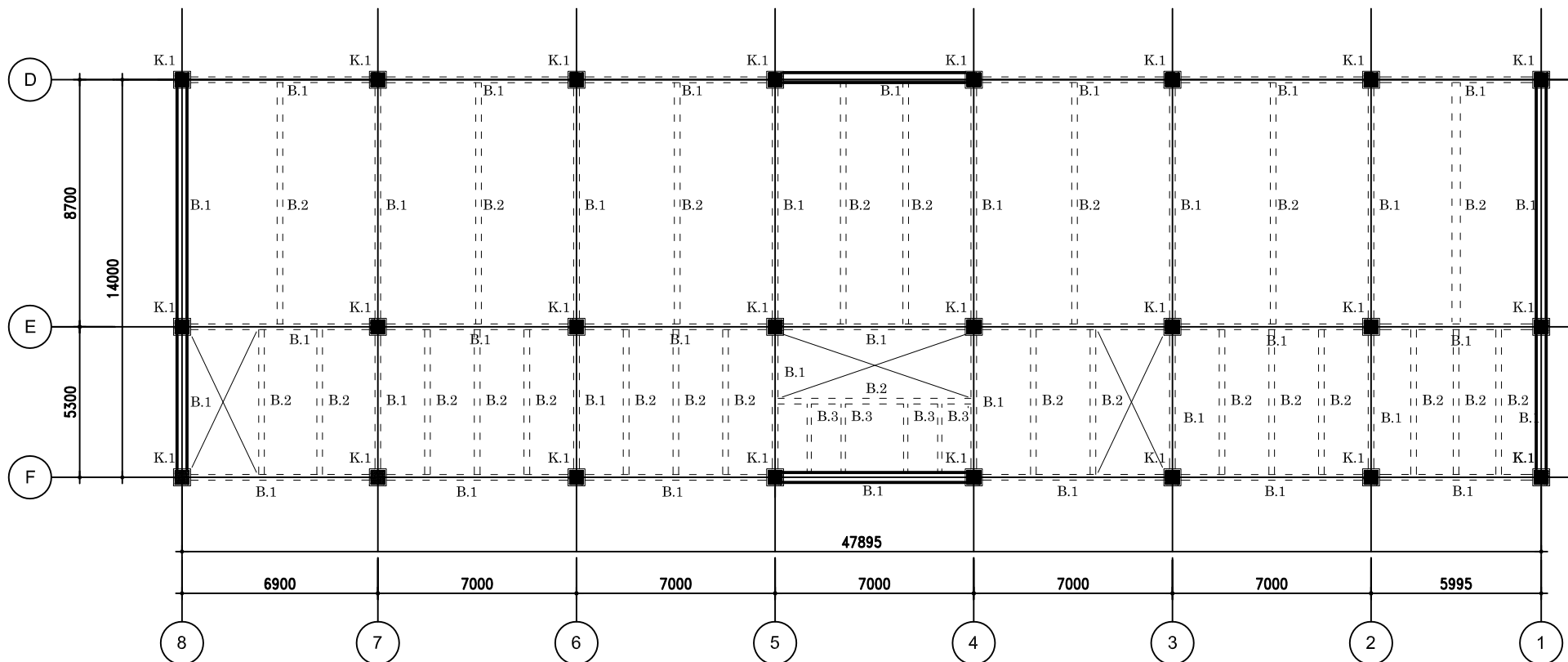
5

JMLH LEMBAR

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007

17



DENAH LANTAI ATAP
SKALA 1 : 100



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI ATAP

SKALA

1 : 100

NO. LEMBAR

6

JMLH LEMBAR

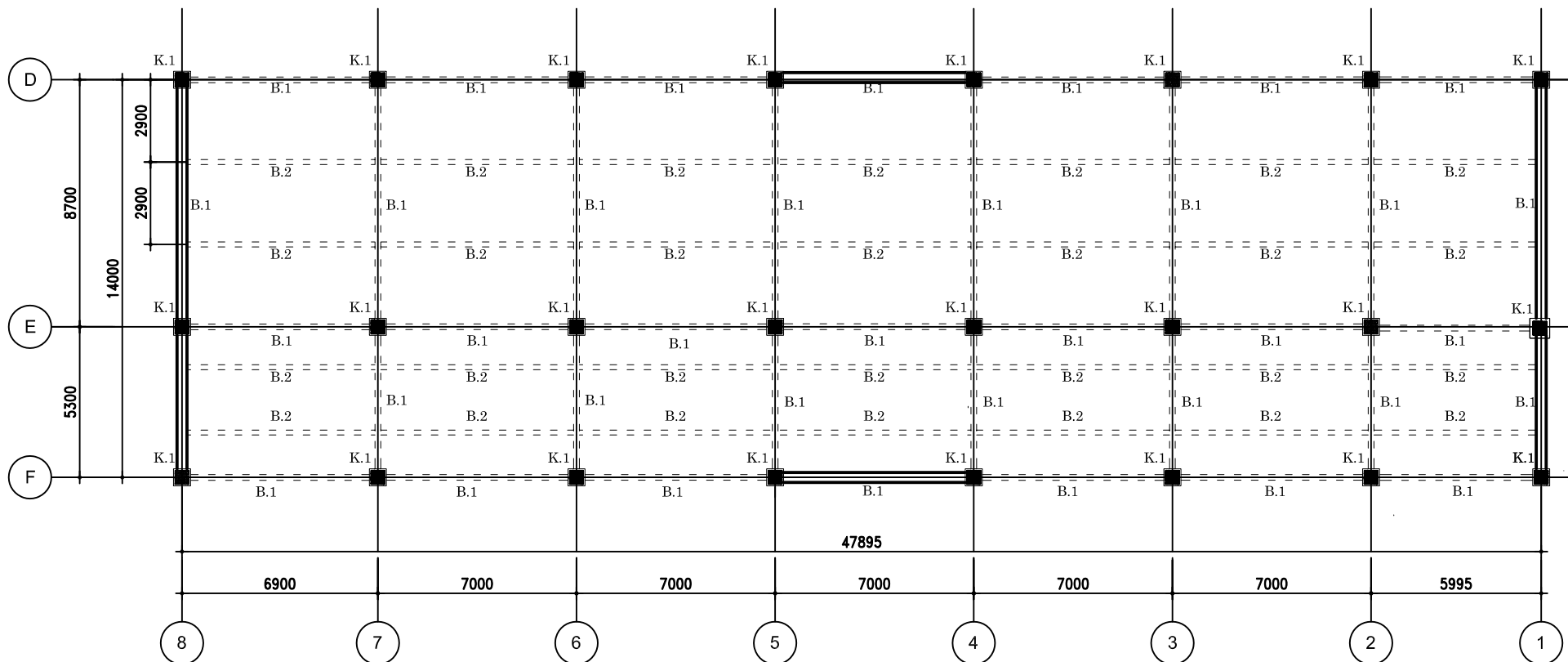
17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



DENAH LANTAI TOP ATAP
SKALA 1 : 100

KODE	KETERANGAN
B1	BALOK WF
B2	BALOK WF
K1	KOLOM CFT
—	SRBE



JUDUL TUGAS

JUDUL GAMBAR

SKALA

NO. LEMBAR

DOSEN PEMBIMBING

NAMA / NRP MAHASISWA

TUGAS AKHIR

DENAH LANTAI TOP ATAP

1 : 100

7

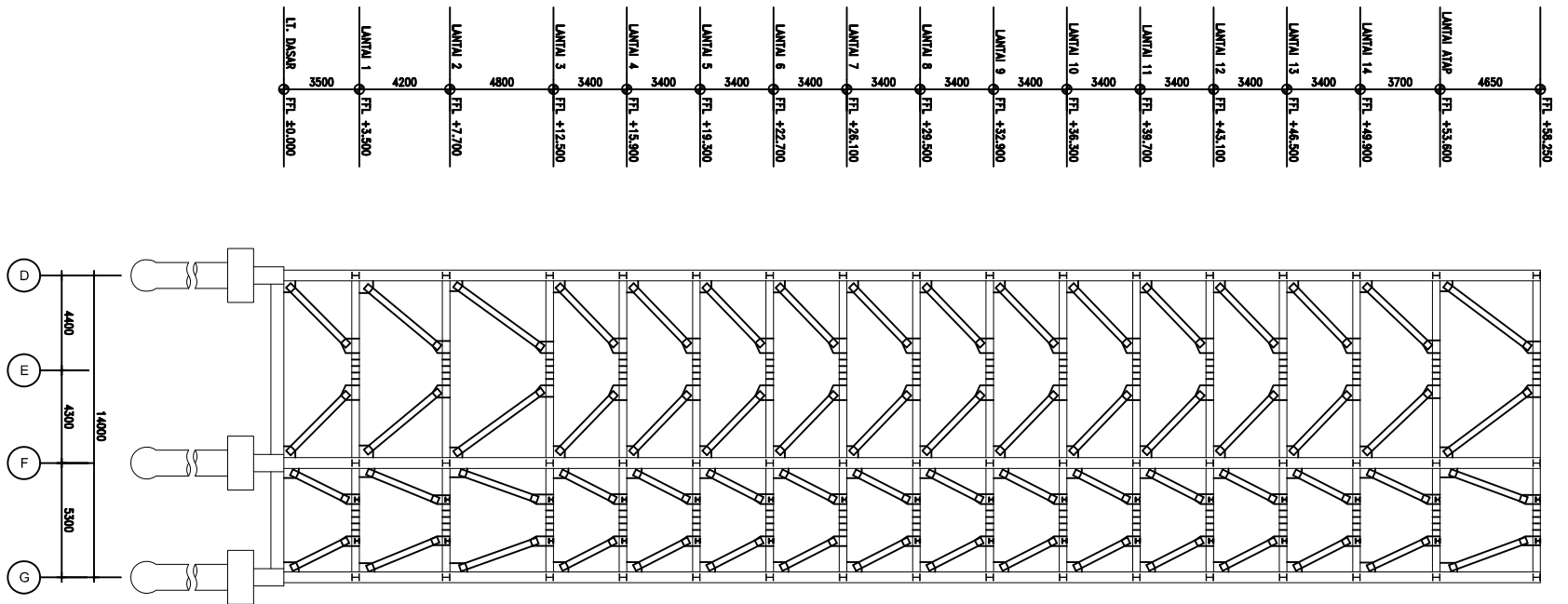
JMLH LEMBAR

17

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007

POTONGAN AS 8
SKALA 1 : 350



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

POTONGAN AS 8

SKALA

1 : 300

NO. LEMBAR

8

JMLH LEMBAR

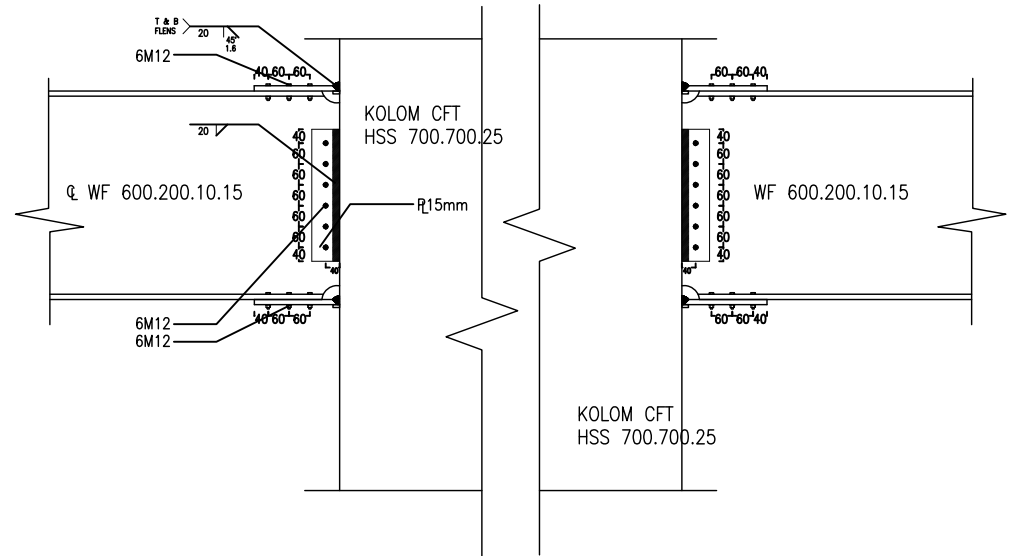
17


NAMA DOSEN KONSULTASI

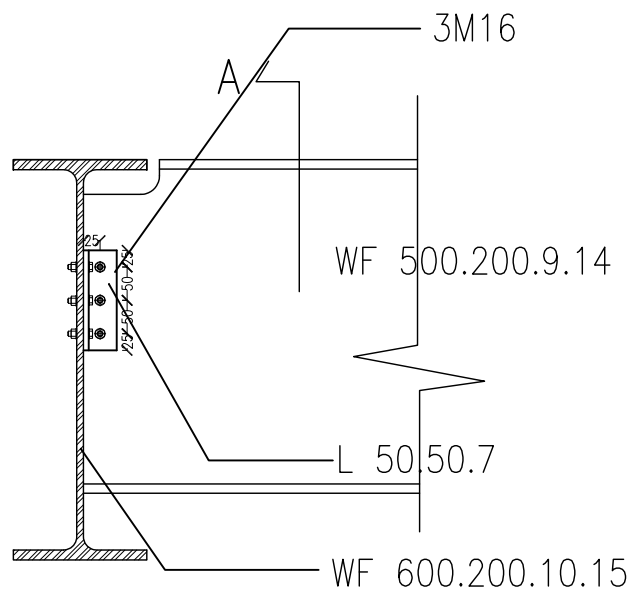
Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007

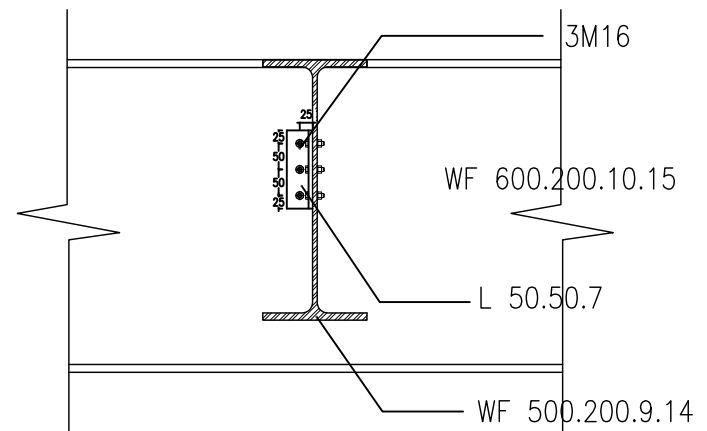


	JUDUL TUGAS	JUDUL GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA / NRP MAHASISWA
	TUGAS AKHIR	DETAIL SAMBUNGAN BALOK INDUK - ANAK	1 : 100	10	Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D	LAILATUL FITRIYAH 3115 105 007
				JMLH LEMBAR		
				17		



SAMBUNGAN B1-B2

SKALA 1:10



POTONGAN A

SKALA 1:10



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
BALOK INDUK - ANAK

SKALA

1 : 100

NO. LEMBAR

11

JMLH LEMBAR

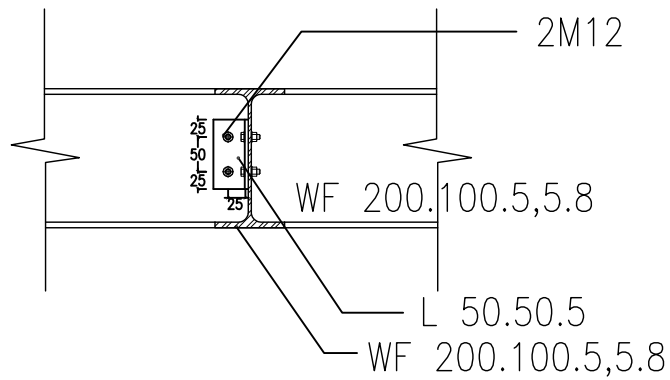
17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

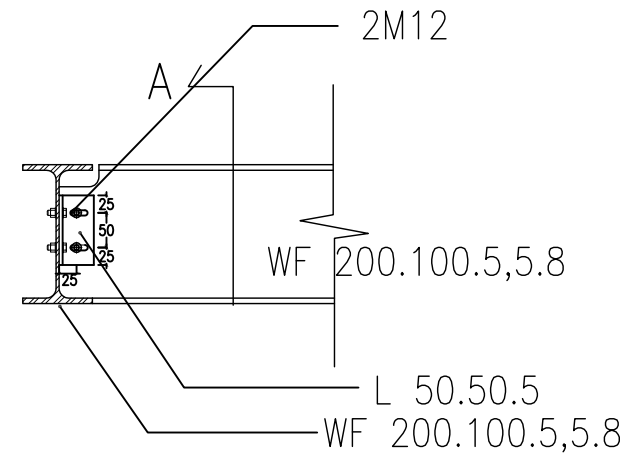
NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



DETAIL B

SKALA 1:10



DETAIL A

SKALA 1:10



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
BALOK PENUMPUN BORDES -
BALOK UTAMA TANGGA

SKALA

1 : 100

NO. LEMBAR

12

JMLH LEMBAR

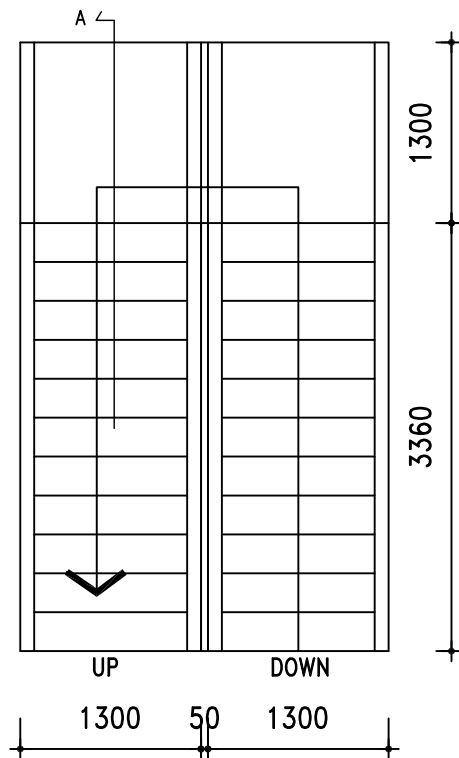
17

DOSEN PEMBIMBING

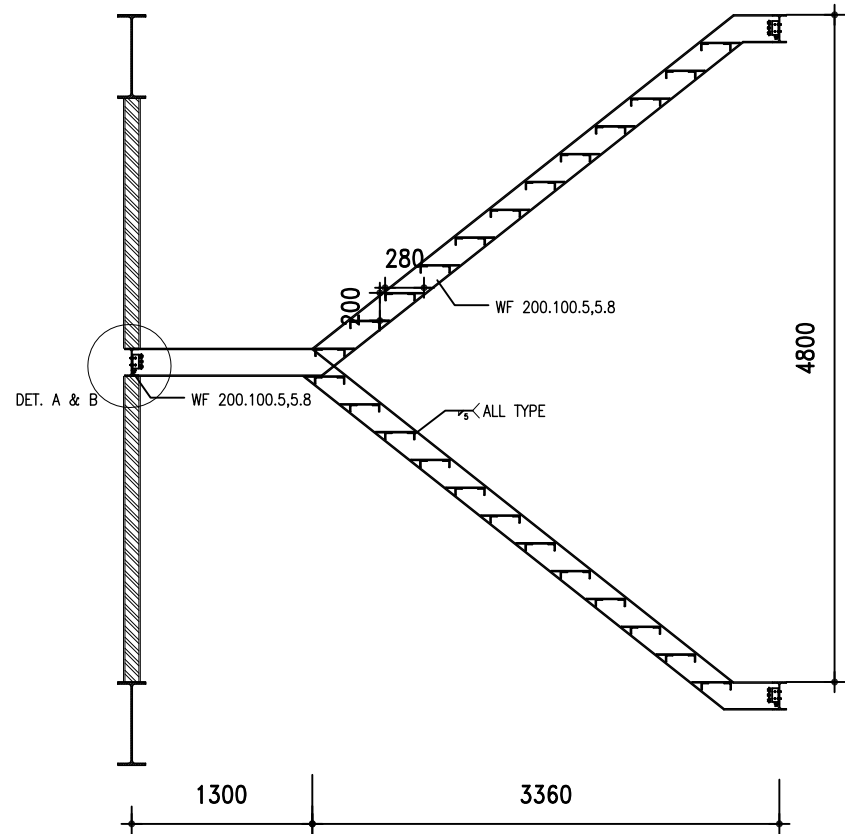
Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



DENAH TANGGA
SKALA 1:25



POTONGAN A
SKALA 1:25



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
TANGGA

SKALA

1 : 10

NO. LEMBAR

11

JMLH LEMBAR

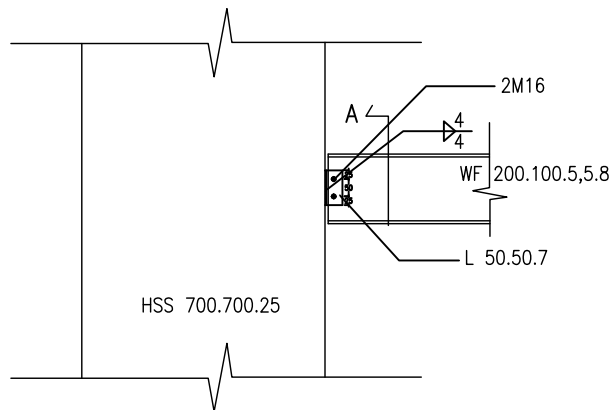
17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

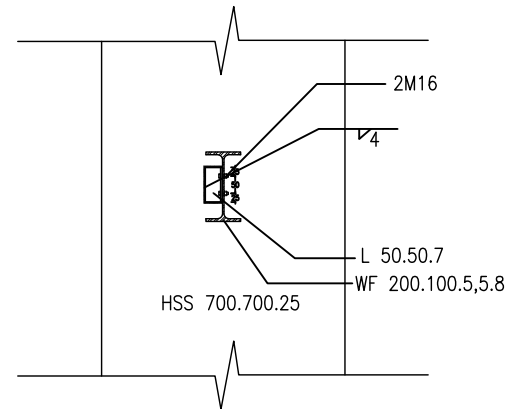
NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



SAMBUNGAN KOLOM – BLK PENUMPU TANGGA

SKALA 1:10



POTONGAN A

SKALA 1:10



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
KOLOM - BALOK PENUMPU
TANGGA

SKALA

1 : 10

NO. LEMBAR

13

JMLH LEMBAR

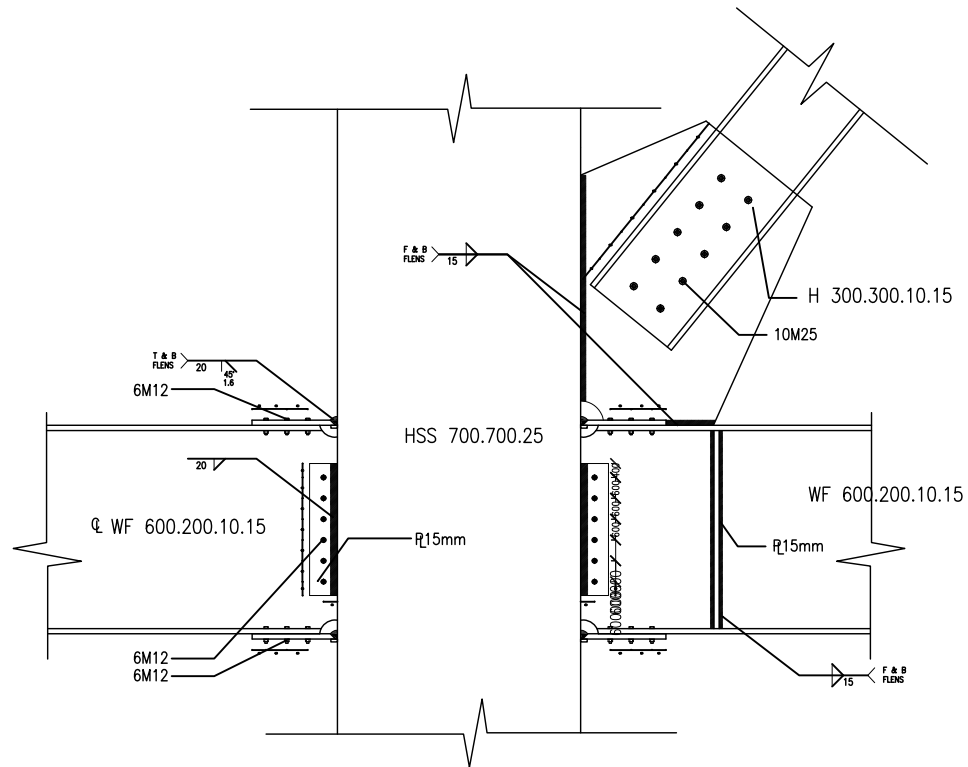
17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



SAMBUNGAN KOLOM – BALOK – BRACING
SKALA 1:10



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
KOLOM - BALOK - BRACING

SKALA

1 : 10

NO. LEMBAR

14

JMLH LEMBAR

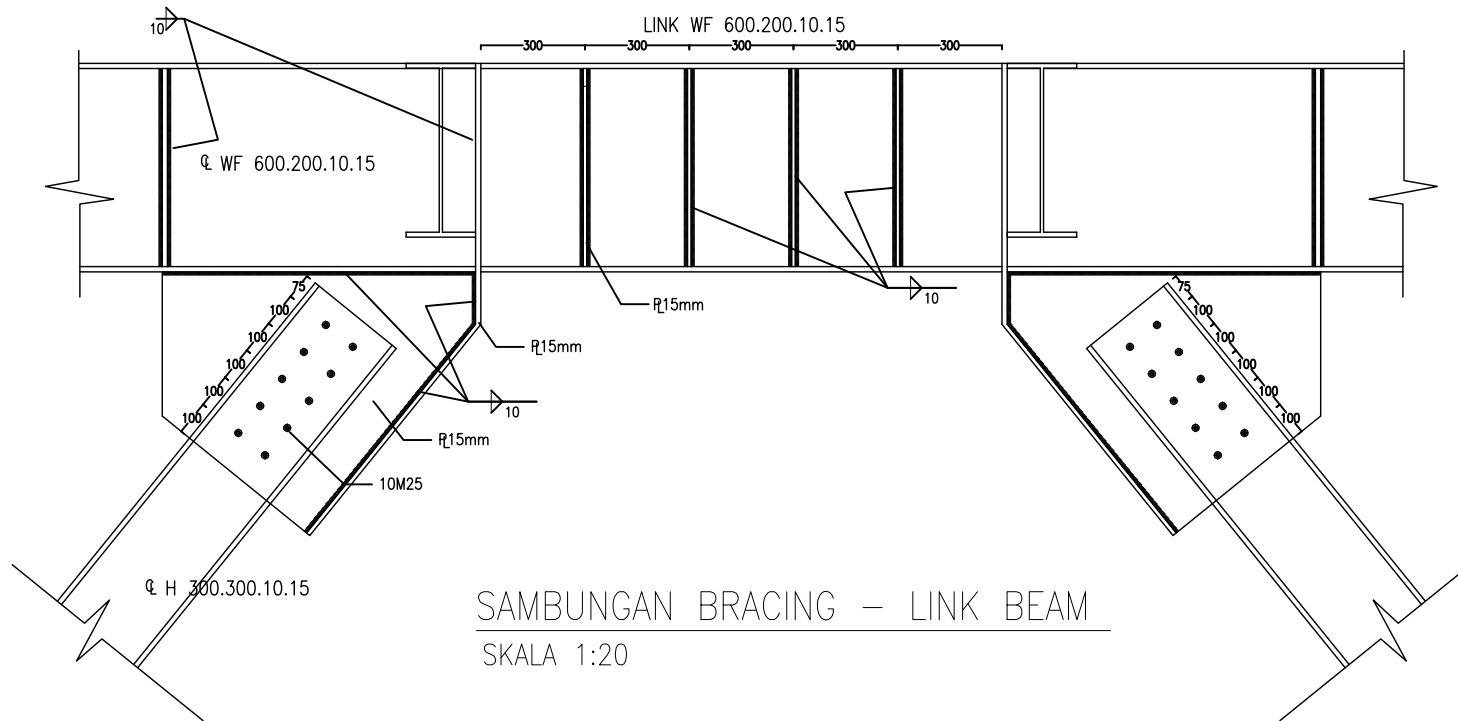
17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



SAMBUNGAN BRACING – LINK BEAM
SKALA 1:20



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
BRACING - LINK

SKALA

1 : 10

NO. LEMBAR

15

JMLH LEMBAR

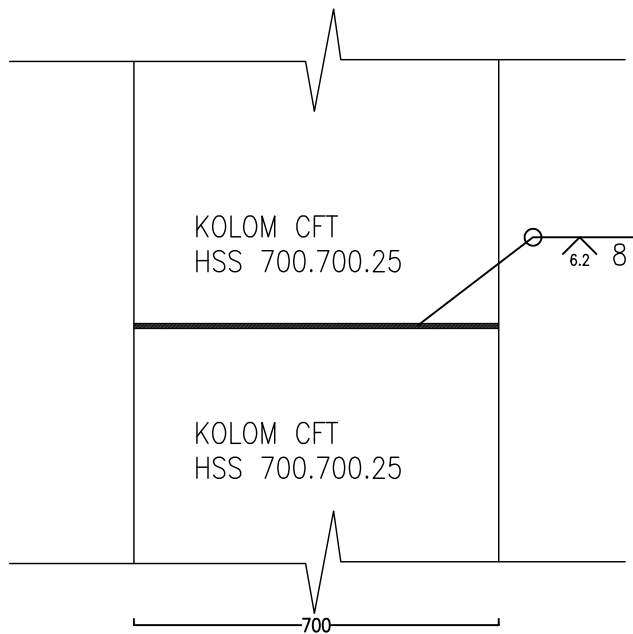
17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

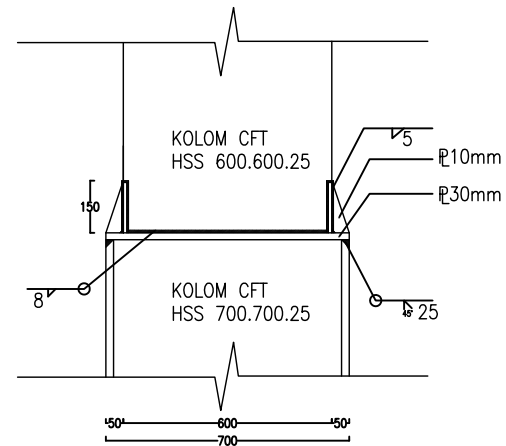
NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



SAMBUNGAN K1 – K2

SKALA 1:10



SAMBUNGAN K1 – K2

SKALA 1:10



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN
KOLOM CFT

SKALA

1 : 100

NO. LEMBAR

16

JMLH LEMBAR

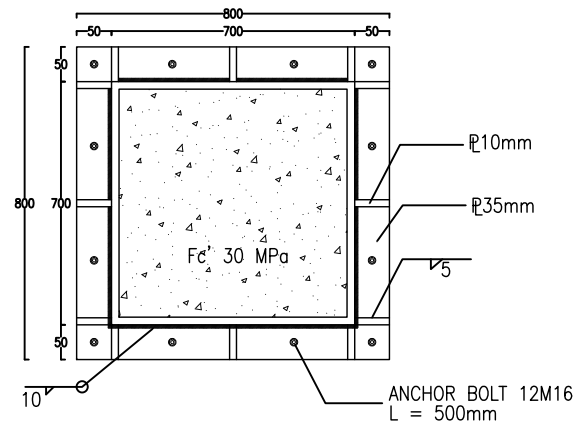
17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

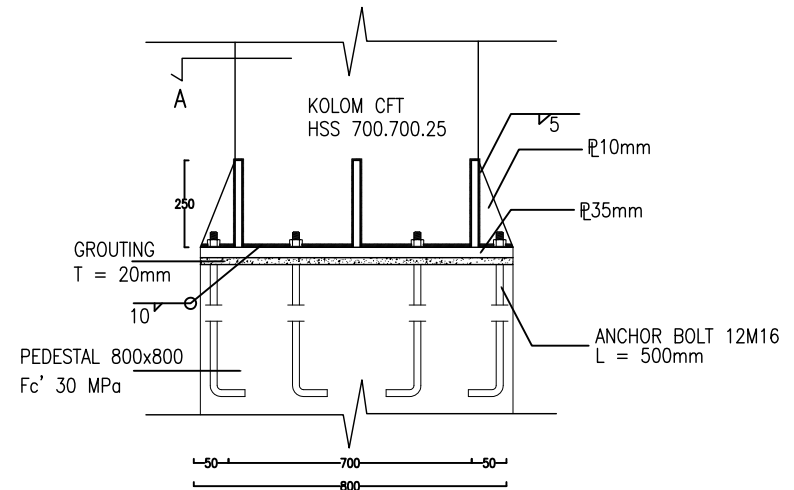
NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007



POTONGAN A

SKALA 1:10



SAMBUNGAN BASEPLATE

SKALA 1:10



JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN BASE PLATE

SKALA

1 : 10

NO. LEMBAR

17

JMLH LEMBAR

17

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. PRIYO SUPROBO, M.S., Ph.D
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D

NAMA / NRP MAHASISWA

LAILATUL FITRIYAH
3115 105 007

BIODATA PENULIS



Lailatul Fitriyah, lahir pada tanggal 17 September 1993 dan merupakan putri pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Petiken 3 Driyorejo-Gresik tahun 2005, SMP Negeri 28 Surabaya tahun 2008, SMA Darul Ulum 2 Unggulan BPPT RSBI Jombang tahun 2011, dan D3 Teknik Sipil ITS Surabaya tahun 2014. Selama menempuh pendidikan di D3 Teknik Sipil ITS, penulis aktif dalam kegiatan

yang diselenggarakan oleh himpunan Diploma Teknik Sipil diantaranya *Tower Construction Competition* (TCC) dan *Bridge Construction Competition* (BCC). Penulis juga aktif dalam kegiatan yang diselenggarakan oleh tim jurnalis Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS. Setelah lulus dari D3 Teknik Sipil ITS tahun 2014, penulis diterima kuliah di Program S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2015. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 3115105007.

Email : fitriyahlaila17@gmail.com